№ 8-9 Warszawa, 25 września 1938 r. Rok XVI

TECHNIKA CIEPLNA

CZASOPISMO ZWIĄZKU STOWARZYSZEŃ DOZORU KOTŁÓW W POLSCE

REDAKTOR: Inż. techn. JAN KOMARNICKI.
Wydawca: Związek Stowarzyszeń Dozoru Kotłów w Polsce.
REDAKCJA I ADMINISTRACJA: WARSZAWA, PIUSA XI, 32, m. 6. TEL. 8-81-47.
GODZINY BIUROWE ADMINISTRACJI — CODZIENNIE, OD 10 DO 15.

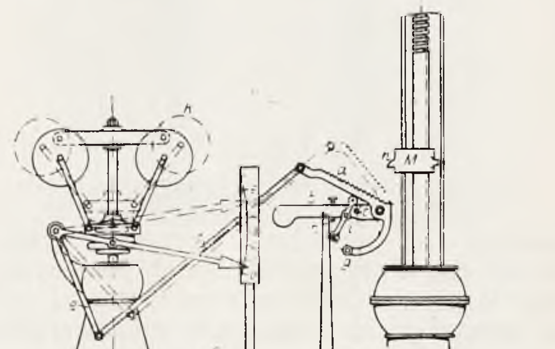
J. OBRĄPALSKI, inż.

SPRAWOZDANIE ODDZIAŁU OGÓLNEGO STOWARZYSZENIA DOZORU KOTŁÓW W KATOWICACH.

Dozór wykonał ogółem 72 rewizji maszyn i urządzeń wyciągowych z napędem parowym i elektrycznym, stwierdził przy tym różne braki w następujących ilościach wypadków:

spadochrony nie działają	5
hamulce za słabe	4
poślizg liny Koepe	2
śruby i nity w bębnach, kołach i klatkach luźne	20
koła linowe wyrobione	6
części zawiesia wyrobione	8
klatki i dźwigary zniszczyła rdza	9
kierowniki w szybie zniszczone	10
tachograf wskazuje fałszywie	9
automaty różne źle działają	9
różne braki sygnalizacji	5
izolacja elektryczna zła	2
różne braki	4

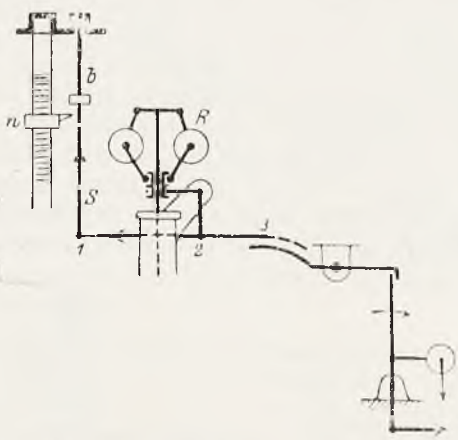
Dał się odczuć pewien ruch w kierunku modernizacji i odnowienia starych urządzeń wyciągowych i ich zabezpieczeń. Przerobiono dalsze 2 wyciągi parowe klatkowe na skipy, zwiększono przy tym ładunek użyteczny w jednym wypadku z 2,4 *t* na 3 *t* przy wadze skipu 5,5 *t*, w drugim zaś z 2,4 *t* na 4 *t* przy wadze skipu 6 *t*. Ustawiono parę nowych regulatorów jazdy oraz wyremontowano dokładnie kilka starych regulatorów i kilka starych przyrządów bezpieczeństwa; ogółem Dozór wykonał 12 odbiorów takich urządzeń różnego rodzaju i wieku. Jak wiadomo „regulator jazdy" stale porównywa prędkość jazdy rzeczywistą z prędkością zadaną dla danego położenia klatek w szybie i w razie przekroczenia ostatniej koryguje prędkość zapomocą zmniejszenia nacisku pary pędnej, interwencji hamulców lub zastosowania przeciwpary: prócz tego zwykle regulator zmienia jeszcze napełnienie cylindrów dla osiągnięcia oszczędnej pracy i uniemożliwia ruszenie maszyny w fałszywym kierunku z końcowej stacji. Natomiast zwykły „przyrząd bezpieczeństwa" porównywa prędkość jazdy rzeczywistą z prędkością zadaną tylko w okresie ruchu ustalonego i hamowania, a w razie przekroczenia wielkości zadanych odrazu zatrzymuje maszynę, odcinając prawie całkowicie przepływ pary i zaciskając mocno hamulce; zapobiegać on powinien również jeździe w fałszywym kierunku ze stacji końcowej. Przyrządy obu rodzajów mają czuwać tak nad przewozem ładunku z dużą prędkością, jak i nad przewozem ludzi z małą prędkością. W przyrządach bezpieczeństwa elementem wska-



Rys. 1. Przyrząd bezpieczeństwa Baumana.

zującym prędkość rzeczywistą jest prawie zawsze urządzenie odśrodkowe ciężarkowe wykazujące małą siłę pędną, ruch wahliwy i niepewny, a więc duże błędy, właśnie przy małych prędkościach. Typowy wzór takiego przyrządu syst. Baumana podaje rys. 1. Przyrząd połączony jest z szybowskazem. Najważniejszą część przyrządu stanowi zawieszona kulisa zębata. Pod wpływem przyrządu odśrodkowego kulisa odchyla się w bok i zbliża swoje zęby do pionowego toru noska nakrętki wędrującej po śrubie szybowskazu. Dla każdej pionowej odległości noska od stacji końcowej istnieje zadana prędkość, a więc i najmniejsza odległość pozioma zęba kulisy; jeżeli prędkość jest za wielka, wychylenie ku-

lisy wzrasta aż do zetknięcia jej zęba z noskiem, co powoduje przesunięcie punktu zawieszenia kulisy i zatrzymanie maszyny. Rys. 2 podaje podobnie działający przyrząd Westphala. Przy małych prędkościach tarcia i luzy w przegubach i przekładniach kulisy i przyrządu odśrodkowego powodują duże błędy, jednak staranne czuwanie nad stanem urządzenia przy dokładnej znajomości jego działania daje możność osiągnięcia dostatecznego stopnia ich niezawodności. Jako przykład dobrych rezultatów, osiągniętych starannością kierownictwa, może posłużyć maszyna na kopalni X, na której w roku ubiegłym zaszedł ciężki wypadek przejechania końcowej stacji, spowodowany częściowo złym działaniem przyrządu bezpieczeństwa i opisany w sprawozdaniu zeszłorocznym. Zgłoszony do rewizji po doprowadzeniu



Rys. 2. Przyrząd bezpieczeństwa Westphala.

maszyny do porządku przyrząd Baumana działał źle, a przy prędkościach poniżej 5 *m/s* wogóle nie działał. Ten sam przyrząd w kilka tygodni później, po przebytej „kuracji", zupełnie dobrze zatrzymywał automatycznie klatkę opuszczaną obciążoną jak przy załodze, a mianowicie:

Prędkość jazdy przed stacją *m/s*	Droga przejazdu *m* klatki lewej	prawej
3	0,9	0,9
4	0,9	1,0
6	2,6	2,6

Wyłącznik mechaniczny końcowy regulatorów jazdy i przyrządów bezpieczeństwa pracujących przy urządzeniach wyciągowych mających różne poziomy odbiorcze górne dla przewozu węgla i dla przewozu ludzi, powinien automatycznie zmieniać swoje położenie wraz z przestawieniem zabezpieczeń na przewóz ludzi; dotyczy to zwłaszcza skipów, używanych częściowo i dla przewozu ludzi.

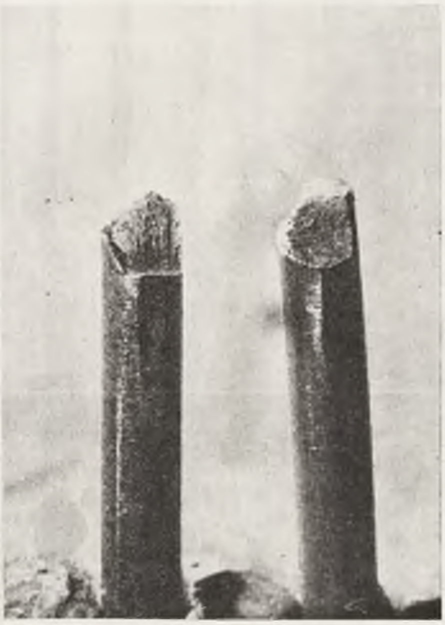
W związku z przebudową i modernizacją wyciągów zbadano 14 nowych zawiesi klatek, poddając je w myśl przepisów trzykrotnie większemu obciążeniu próbnemu na specjalnej maszynie hydraulicznej u wytwórcy; maszyna rozwija największą siłę ciągnącą 120 *t* przy skoku 30 *cm* i długości badanego przedmiotu 1,3 — 1,8 *m*. Przy rewizjach maszyn wyciągowych i ich zabezpieczeń stwierdza się niekiedy skutki nadmiernych oszczędności na ich konserwacji w ubiegłym okresie kryzysowym, często zaś zwykłego zaniedbania: niedopuszczalne luzy na klinach stałych i na klinach kierowniczych tulei ruchomych rozrządu pary, luzy w organach regulatorów jazdy, nadmierne wydarcie przekładni zębatych i t. p. Błędy przestarzałych konstrukcji przyrządów bezpieczeństwa zagrażają niekiedy jeszcze bezpośrednio obsłudze maszyn, np. przy działaniu automatów ograniczających szybkość jazdy dźwignia hamulca ręcznego czasem zostaje silnie odrzucona w tył, narażając maszynistę na okaleczenie, co już przed kilkunastu laty spowodowało złamanie ręki.

Wykonano ogółem badania 13 lin wyciągowych, w tem dla uzyskania przedłużenia czasu pracy: 6 lin roboczych okrągłych na kołach Koepe, 1 liny roboczej płaskiej i 1 liny wyrównawczej okrągłej; dla stwierdzenia przyczyn przedwczesnego zużycia lub nienormalnych objawów pracy — 4 liny, wreszcie dla odbioru w fabryce — 1 lina. Przy badaniu lin Koepe dla uzyskania przedłużenia okresu pracy stosowano dodatkowo w wielu wypadkach metodę elektromagnetyczną, we wszystkich zaś wypadkach odkręcano sploty w miejscach wątpliwych dla stwierdzenia stopnia starcia drutów na skrzyżowaniu splotów i wykrycia pęknięć, wreszcie rozchylano w splocie druty górnej warstwy dla zbadania stanu drutów następnej warstwy. Jako miejsca wątpliwe wybierano miejsca wskazane przez pomiar magnetyczny lub miejsca specjalnie narażone na zerwanie drutów w pracy, jak np. odcinek nad zawiesiem tarciowym klatki, odcinek spoczywający na kole linowym podczas ładowania klatki, albo miejsca narażone na zużycie, jak cały odcinek liny przebiegający po kole Koepe, zwłaszcza przy dużych naciskach jednostkowych liny na kole. Proponowane przedłużenia czasu pracy wynosiły najczęściej 6 miesięcy, w jednym tylko wypadku 3 miesiące, i zostały przez Władze Górnicze przeważnie zaakceptowane. Niestety trzeba stwierdzić, że metoda elektromagnetyczna wykrywania pękniętych drutów wewnątrz liny w wielu wypadkach zawodzi, a ostatnio traci zaufanie nie tylko w Polsce i Ameryce, lecz i w Niemczech. Wprawdzie w Niemczech udoskonalono ją w ostatnich miesiącach dla lin nośnych kolejek wiszących linowych, o konstrukcji zwartej gładkiej na zewnątrz i przekroju jednolitym bez duszy konopnej, jednak próby zastosowania tych ulepszeń do lin wyciągowych z duszą konopną nie usunęły dotychczas jej głównej wady polegającej na nadmiernej wrażliwości na różne wpływy uboczne.

Obecnie podajemy wyniki badań kilku lin pracujących nienormalnie.

Na kopalni A pracuje lina okrągła *d* =

53 *mm* o splotach trójkątnych na bębnach $D =$ 6 *m* wyciągu parowego w szybie głębokości 450 *m* przy prędkości 16 *m/sek*. Zapas pewności liny przy jej nałożeniu w maju 1936 r. wynosił 9,58; od tego czasu 6 razy ucinano linę do próby, zapas pewności wynosił przy tym zawsze powyżej 9. Po 8 miesiącach pracy zaczęły występować pęknięcia drutów, liczba nowych pęknięć wynosiła w miesiącach kolejno 4, 24, 14, 20, 31, 46 i w połowie ostatniego 36. Pęknięcia rozsiane są dosyć równomiernie po całej długości części liny pracującej na bębnie; na każde 50 *m*, licząc od klatki, znaleziono zerwanych drutów: 0, 3, 12, 19, 47, 21, 9, 39, 22, 6, ogółem 188 drutów. Prawie zawsze



Rys. 3. Złom drutu z przodu.



Rys. 4. Złom drutu z boku.

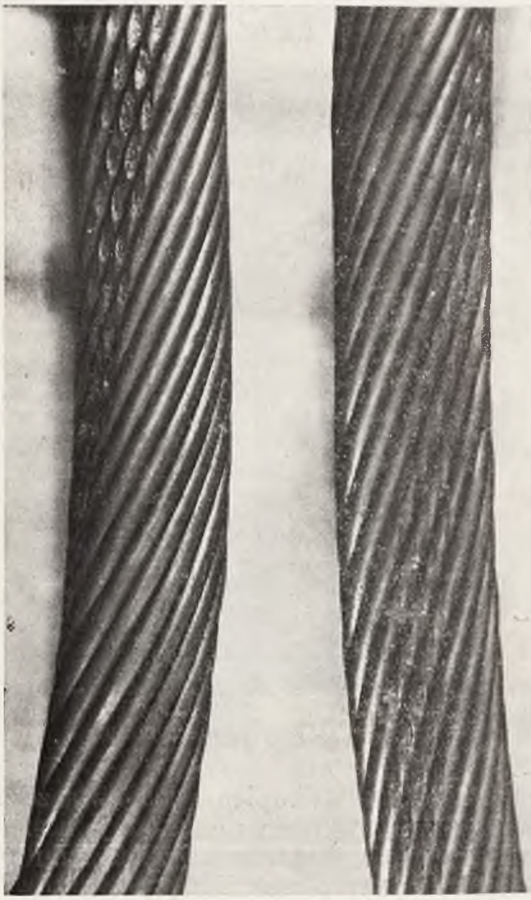
pęknięte są w jednym miejscu 2 druty 2 górnych warstw, leżące przy sobie, większe skupienia są nieliczne i dochodzą do 8 drutów. Pęknięcia występują mniej więcej w połowie odcinka drutu przebiegającego na powierzchni liny, złom drutu ma charakter zmęczeniowy. Stan drutów jest dobry, rdzy i korozji niema, smarowanie prawidłowe, starcie zewnętrzne miejscami do 0,1 *mm*, skaleczeń i skaz nie znaleziono. Lina składa się z 6 splotów po 36 drutów o grubości 2,4 i 2,75 *mm*, skok drutów w pasmie 172 *mm*, skok pasma w linie 424 *mm*, wytrzymałość materiału podana była w zamówieniu na 155 kg/mm^2 dostarczona 167 kg/mm^2. Dla wykrycia przyczyn zbyt szybkiego pękania drutów zbadano materiał drutów i warunki pracy liny.

Materiał zawiera (0,72 — 0,75) % *C*, co dla drutu grubości 2,55 *mm* daje przy normalnych obróbce termicznej i przeciąganiu wytrzymałość materiału nie większą niż 140 kg/mm^2; dla uzyskania wytrzymałości 167 kg/mm^2 zawartość *C* powinna wynosić 0,85 do 0,9%, przy ilościach mniejszych wysoka wytrzymałość osiągnięta jest przez nadmierne przeciąganie, jednocześnie jednak drut staje się nadmiernie kruchy w znużeniu.

Warunki pracy liny są niezupełnie korzystne. Przebieg liny w rowku koła linowego i na klepkach drewnianych bębna jest prawidłowy, sam bęben jednak na 1/6 części obwodu silnie rzuca do 20 *mm* wskutek podłożenia kilku klepek dla wyrównania drogi obu lin. Jeżeli przyrost promienia nawijania 2 *cm* odbywa się na długości 35 *cm*, to przy prędkości obwodowej 16 *m/sek* powstaje przyśpieszenie obwodowe powyżej 5 m/sek^2, co powoduje dodatkowe naprężenia liny wskutek przyśpieszenia mas i drgań. Rozmieszczenie pęknięć wyłącznie na odcinkach liny pracujących na bębnie i skupienie ich zwłaszcza na odcinkach, których nawijanie odbywa się jednocześnie ze stosunkowo największymi prędkościami i przyśpieszeniami, potwierdza ich związek przyczynowy z ekscentrycznością bębna. Dla materiału normalnego skutki ekscentryczności tej występowałyby powoli, dla materiału zbyt kruchego występują one w tempie zbyt szybkim. Wygląd złomu drutów pokazują rys. 3 i 4.

Na kopalni B pracuje od lipca 1936 r. lina o 6 masmach trójkątnych po 42 druty w każdym o średnicy 2,6; 2,55; 1,6 *mm*. Głębokość szybu 500 *m*, prędkość 16 *m/sek*, grubość liny 50 *mm*. Próby periodyczne odcinanego końca liny dawały kolejno zapasy pewności: 9,39; 9,31; 8,78; 7,55; 5,01; 5,73 przy wydobyciu, wobec czego linę zdjęto po roku pracy. Odcinek liny poddano próbom na rwanie i gięcie, które wykazały zapas pewności 4,76. Na obniżenie zapasu pewności wpływa prawie wyłącznie wielka liczba drutów przetartych i skorodowanych o małej liczbie zgięć. Starcia poprzeczne drutów występują najwyraźniej na powierzchniach styku poszczególnych splotów, co widać

na załączonych rys. 5 i 6; starcie jest głębokie i znajduje się na wszystkich drutach górnej warstwy każdego splotu; każdy drut posiada ok. 5 starć skupionych w jednym miejscu, skupienia takie powtarzają się na każdym drucie w odległościach odpowiadających skokowi jego zwoju. W ten sposób wszystkie druty zewnętrzne są pokaleczone na całej długości odcinka liny. Druty zewnętrzne nie wykazują rdzy i korozji, natomiast druty wewnętrzne, zwłaszcza w drugiej warstwie, są silnie zardzewiałe, skorodowane i miejscami starte; trójkątna dusza żelazna splotu jest w niezłym stanie, dusza konopna liny jest zupełnie sucha. Smar wewnątrz liny jest w wysokim stopniu wysuszony i sproszkowany razem ze rdzą.



Rys. 5. Starcia poprzeczne splotów.

Warunki pracy na bębnie i kołach linowych można uważać za normalne, małe docieranie liny do bocznej powierzchni rowka wieńca koła linowego jest praktycznie bez znaczenia. Bębny i koła są dobrze wycentrowane. Szyb natomiast posiada wody kwaśne i słone, które muszą wpływać na szybkie powstawanie korozji w razie niedostatecznego smarowania liny od zewnątrz. W czasie oględzin lina była dobrze wysmarowana lepkim smarem. Badanie materiału drutów wykazało, że zawartość węgla wynosi 0,8%, jest więc dla wytrzymałości 160 *kg/mm*² wystarczająca, to też drut nie jest kruchy, pękniętych drutów zewnętrznych niema.

Z powyższego wynika, że materiał drutów jest dobry, a szybki spadek zapasu pewności liny pochodzi wyłącznie od okaleczenia drutów przez poprzeczne starcia i korozje. Starcia te mogą być wynikiem: a) nieodpowiedniej konstrukcji trójkątnych splotów (np. zbyt mały lub nieodpowiednio dobrany skok drutu w poszczególnych warstwach splotu), lub b) za cienkiej i nieodpowiednio nasyconej smarem duszy konopnej w linie. Korozje wewnętrzne mogą powstawać wskutek niedostatecznego zabezpieczenia wnętrza liny od dostępu kwaśnych wód przez odpowiednie smarowanie zewnętrznej powierzchni liny, przy jednoczesnym niedostatecznym smarowaniu wnętrza liny od strony duszy konopnej.



Rys. 6. Starcia i korozje drutów w trzech warstwach splotu.

Na kopalni C pracuje od grudnia 19 6 r. lina grubości 60 *mm* o splotach trójkątnych i 228 drutach, w tem 114 o średnicy 2,95 i 114 o średnicy 2,9 *mm* przy całkowitej długości 750 *m*. Maszyna Koepe z napędem elektrycznym wyciąga z głębokości 550 *m* po 2 wozy na klatce o zawartości łącznej do 7 *t* przy szybkości maks. 9 *m/sek;* wozy na dole i na górze zapychane są na wiszącą klatkę bez podchwytów. Przy nałożeniu liny próby jej odcinka wykazały zapas pewności 8,9 i wytrzymałość materiału 172,35 *kg/mm*². Pod koniec następnego roku kopalnia na podstawie sta-

łych pomiarów wydłużenia liny powzięła wątpliwości co do jej pracy: zmiany długości liny notowane co 1 dzień miały przebieg dość chaotyczny i nieustalony, nie wykazywały tendencji zniżkowej, jednocześnie jednak całkowite wydłużenie liny wyniosło 4,2 *m*, czyli zaledwie 0,6% całej długości. Zwykle wydłużanie się liny z czasem maleje, skracanie jej staje się coraz rzadszym, w tym wypadku jednak takiego objawu stabilizacji nie stwierdzono, wobec czego postanowiono linę zdjąć po 14 miesiącach pracy, w których wykonała ona pracę użyteczną 210000 *tkm*, nie posiadała przy tym żadnego widocznego pęknięcia drutu. Po zdjęciu liny kopalnia poddała próbom wytrzymałościowym odcinek jej odległy o 180 *m* od jej końca i otrzymała: średnią ilość gięć 4,75 wobec pierwotnych 7,43, po odrzuceniu zaś 11 drutów zbyt słabych na zerwanie i 48 drutów zbyt słabych na gięcie zapas pewności drutów dobrych 4,7. Ponieważ przedwczesne zdjęcie liny pociągało za sobą na zasadzie umowy obowiązek bonifikaty pieniężnej ze strony dostawcy, powstał spór co do konieczności dokonanego wycofania jej z ruchu. Dla stwierdzenia stanu liny zdjętej wycięto z jej środkowej części odcinek i zbadano dokładnie w następujący sposób: linę całkowicie rozebrano, obejrzano dokładnie druty i duszę konopną, oskrobano druty, zebrano rdzę i proszek mieszczące się na drutach, proszek poddano analizie chemicznej. Oględziny i analiza wykazały co następuje.

Lina składa się z 6 pasem, każde pasmo zawiera 3 warstwy drutów i duszę żelazną. Druty w górnej warstwie posiadają starcia poprzeczne od sąsiedniego pasma, prócz tego zaś nieznaczne starcia podłużne od powierzchni nośnych kół i sąsiednich drutów, wreszcie posiadają na całym obwodzie dosyć znaczne korozje; śladów smaru na drutach niema. Druty średniej warstwy posiadają nieznaczne starcia podłużne oraz znaczne korozje na całym obwodzie. Druty dolnej warstwy są zupełnie nieuszkodzone i pokryte jeszcze zgęstniałym pierwotnym smarem fabrykacyjnym. Dusza konopna liny wykazuje znaczną wytrzymałość mechaniczną, jest jednak zupełnie pozbawiona smaru i tłuszczu.



Rys. 7. Druty górnej warstwy. Starcia i korozje. *o* — drut wewnętrznej warstwy.



Rys. 8. Druty średniej warstwy. Starcia i korozje. *o* — drut wewnętrznej warstwy.

Proszek zebrany z badanego odcinka 1,05 *m* waży 801 *gr* i zawiera 25,7% różnych części palnych, 73,92% Fe_2O_3, 1,5% krzemionki SiO_2, 1,25% wody i 0,11% siarki. Analiza powyższa potwierdza silny proces rdzewienia, stwierdza również brak zanieczyszczenia liny piaskiem, gdyż ilość krzemionki jest minimalna.

Na zasadzie badań powyższych można było wysnuć następujące wnioski: Druty liny zachowywały się normalnie, ich uszkodzenia należy przypisać wyłącznie brakowi odpowiedniego smarowania i powłoki chroniącej przed dostępem wilgoci. Stopień zniszczenia drutów nie jest katastrofalny; na rys. 7 i 8 pokazano tylko najgorsze okazy 2 górnych warstw, większość drutów jest w stanie znacznie lepszym. Dusza konopna pokazana jest na rys. 9. W takim stanie lina mogłaby jeszcze pracować parę miesięcy, po czym zaczęłyby występować pęknięcia międzypasmowe na starciach poprzecznych i pęknięcia w średniej

warstwie na miejscach skorodowanych. Słuszność przypuszczenia o możliwości bezpiecznej dalszej pracy przez kilka miesięcy potwierdza fakt, że z pośród zdjętych w poprzednich latach lin tego szybu kilka posiadało po zdjęciu zapasy pewności znacznie niższe, a jedna nawet 2,26, i pomimo to do ostatniej chwili pra-



Rys. 9. Dusza konopna.

cowały prawidłowo. Zapas pewności liny obliczony z prób odcinka odległego od jej końców nie jest ujęty żadnymi normami lub przepisami; dla odcinków pobieranych z końca liny zapas ten nie może być niższy od 6, co jednak nic nie mówi o liczbach dla części środkowej wydeptanej w pracy i skorodowanej. Niski zapas pewności obliczeniowy pochodzi z odrzucenia wszystkich drutów, których ilość gięć lub wytrzymałość na zerwanie są niedostateczne, druty te jednak w rzeczywistości biorą udział w pracy liny, tak iż wytrzymałość takiej liny, rwanej w całości jest większa niż wytrzymałość na podstawie przepisów obliczona z właściwości pojedyńczych drutów.

Zjawiska korozji i ścierania drutów 2 górnych warstw pochodzą wskutek: niewłaściwego rodzaju tłuszczu nasycającego duszę konopną, który nie tylko nie chronił pasem od środka przed korozją, lecz mógł ją nawet przyśpieszać w razie istnienia niewłaściwych składników, — niedostatecznego smarowania liny w ruchu, któreby chroniło ją od przenikania do wnętrza wód szybowych. Niewłaściwie dobrane przetłuszczenie liny i niedostateczne smarowanie jej powierzchni powodowało wypłukiwanie przedwczesne resztek tłuszczu ochronnego przez aktywne wody szybowe.

Z wyników badania stanu wewnętrznego liny po zdjęciu widać, że mogła ona jeszcze pracować parę miesięcy i że sam przebieg wydłużeń liny nie jest wystarczającym zjawiskiem dla oceny jej stanu zużycia.

Ciekawe są wyniki badania odcinków środkowych kilku lin zdjętych na wspomnianej kopalni, a mianowicie:

Czas pracy miesięcy	Praca wykonana tys. tkm	Zapas pewności po zdjęciu
24	133	7
22	346	2,26
23	352	3,9
21	342	3,9
17	483	3,8
14	232	4,7

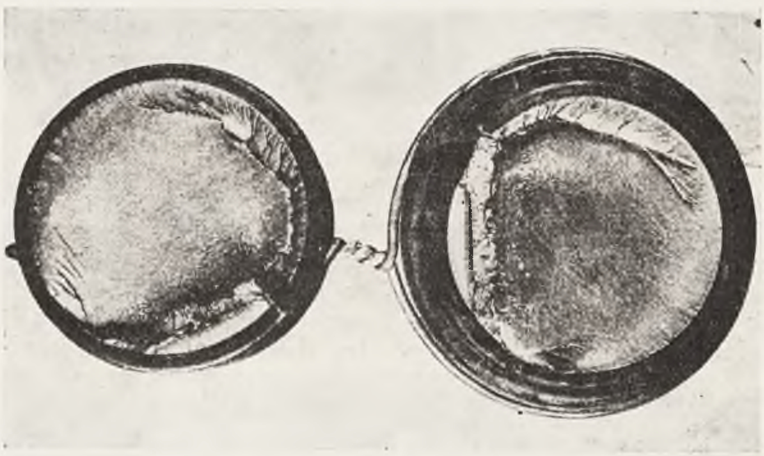
Ciekawą jest konstrukcja liny o splotach trójkątnych, badanej przez nas przy odbiorze w pierwszorzędnej fabryce zagranicznej. Lina o długości 440 *m* i średnicy 51 *mm* wykonana jest z 6 splotów trójkątnych przeciwzwitych, z których każdy składa się z 19 drutów zewnętrznych o średnicy 2,54 *mm*, 13 drutów warstwy środkowej o średnicy 2,51 *mm* i 6 drutów wewnętrznych o średnicy 2,52 *mm*. Skok drutów warstwy zewnetrznej splotu wynosi 410 *mm*, środkowej 119 *mm* i wewnętrznej 40,4 *mm*. Srednia wytrzymałość drutów na zerwanie wyniosła 126,3 kg/mm^2 przy wytrzymałości zamówieniowej 124 kg/mm^2. Lina ma pracować jako wyrównawcza. Analiza chemiczna drutów każdej warstwy dała wyniki następujące:

drut o średn. *mm*	2,55	2,51	2,52
C %	0,47	0,51	0,47
Mn %	0,42	0,43	0,44
P %	0,038	0,036	0,031
S %	0,026	0,025	0,023

Analiza powyższa dla danej wytrzymałości zgadza się mniej więcej z wymaganiami, które w swoim czasie podaliśmy dla drutów do wyrobu lin wyciągowych wg. wymagań, niemieckich, a które obecnie dla przypomnienia powtarzamy. Materiałem drutów jest stal węglista z zawartością 0,35 do 1% *C*, 0,3 do 0,7% *Mn*, poniżej 0,2% *Si*, jak najmniej a w każdym razie poniżej 0,03% *P* i *S*. Dla różnej wytrzymałości zawartość *C*% ma wynosić przy danej grubości drutów liczby podane w tabeli:

Grubość drutu *mm*	Potrzebna zawartość $C\%$ dla osiągnięcia wytrzymałości		
	140 kg/mm^2	160 kg/mm^2	180 — 200 kg/mm^2
2,0 — 2,5	0,75	0,80	0,90
1,5 — 2,0	0,70	0,75	0,85
1,0 — 1,5	0,65	0,70	0,75
0,5 — 1,0	0,55	0,60	0,65

Przy zawartościach C mniejszych niż podane w tabeli drut jest „przepatentowany", kruchy i mało odporny na znużenie. Normalna obróbka drutu 2,6 *mm* o wytrzymałości 140 kg/mm^2 i zawartości 0,75% C jest np. następująca: drut grubości 5,5 *mm* przeciąga się jednym przepustem na 4,6 *mm*, następnie zagrzewa do temperatury powyżej punktu A_3 i ochładza w kąpieli ołowianej do (430 — — 520)°; potem 4 przepustami przeciąga się kolejno na 4,0; 3,4; 3,0; 2,6 *mm*.



Rys. 10. Złom trzona klatki.

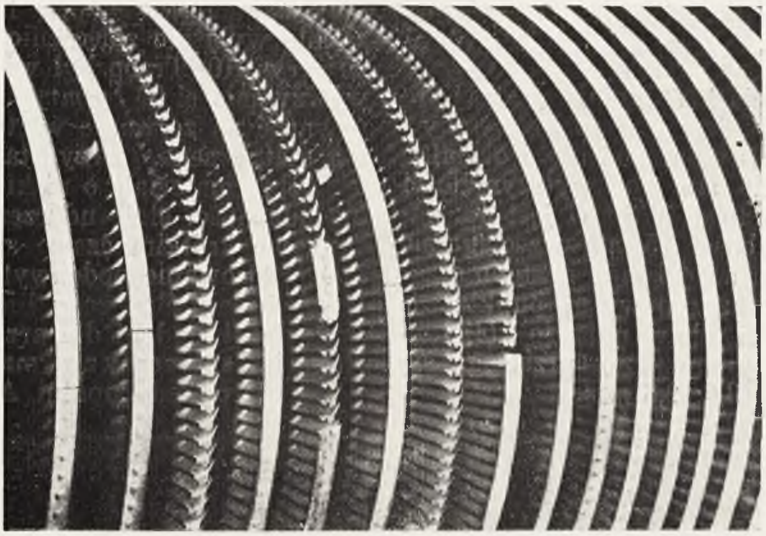
Badania doraźne zaburzeń ruchu różnych urządzeń.

Przy urządzeniach wyciągowych kopalnianych większych zaburzeń nie było. Na jednej z kopalń maszynista wyciągu parowego wjechał z prędkością 4 *m/sek* na stację końcową, lecz regulator jazdy Schönfeld'a maszynę zatrzymał. przed belkami odbojowymi w wieży nadszybowej, na dole w szybie istniała odpowiednia droga na przejechanie, wobec czego obeszło się bez wypadku i uszkodzeń; regulator podregulowano dla obniżenia prędkości wjazdowej na stacji końcowej.

Na jednej z kopalń zanotowano w ciągu ostatnich paru lat dwukrotne zerwanie trzona głównego zawiesia klatki wyciągowej; dzięki łańcuchom dodatkowym, na których zawisła klatka, obyło się bez złych następstw. Zerwanie trzona zaszło w obu wypadkach przy ruszaniu ładowaną klatką z dolnego poziomu, na którym klatka stawiana jest na belkach podstawowych. W nadszybiu klatka górna stawiana jest na podchwytach, wobec czego przy ruszaniu klatkę górną podnoszą z początku cokolwiek ku górze, po czym odsunąwszy podchwyty wyciąg uruchamiają; przy podciągnięciu górnej klatki lina klatki dolnej zostaje zluzowana, po czym nabrawszy już pewnej szybkości uderza nakrętką trzona w belki nośne klatki dolnej. Wskutek takiego obciążenia następuje stopniowe znużenie i nadrywanie trzona w rowku gwintu okrągłego, które stopniowo przechodzi w zerwanie o złomie wybitnie zmęczeniowym, jak to pokazuje rys. 10. Trzon był wykonany ze stali o wytrzymałości 60 kg/mm^2 i posiadał 27 krotną pewność na zerwanie w stosunku do obciążenia statycznego. Przy tak wytrzymałym i twardym materiale o niskiej stosunkowo liczbie udarności stałe uderzenia musiały w stosunkowo krótkim czasie spowodować zerwanie. Stosowanie podchwytów i belek podstawowych jest dla pracy lin bardzo szkodliwe, brak drogi wodnej dla przejazdu dolnego poziomu był sprzeczny z wymaganiami przepisów.

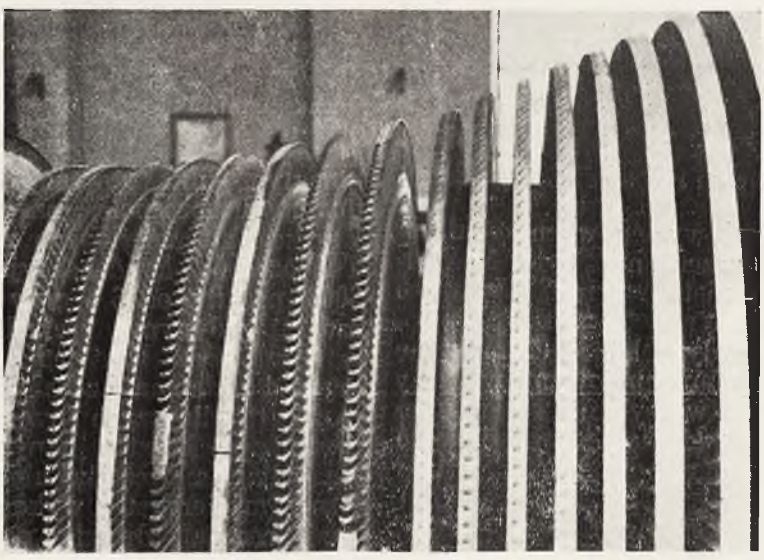
Elektrownia kopalni A przebyła w roku ubiegłym kilka poważnych uszkodzeń przy dużym turbozespole, następujących po sobie wskutek nieszczęśliwego zbiegu okoliczności. Turbozespół kondensacyjny 10000 kW, n = 3000, pracuje od 6 z góry lat prawie bez zarzutu; jedynymi uszkodzeniami był defekt w regulatorze skutkiem zluzowania się nakrętki i wyłamanie zęba pompki oliwnej, które zresztą dłuższych przerw w ruchu zespołu i większych kosztów naprawy za sobą nie pociągnęły. Na początku ubiegłego roku monter firmy macierzystej wykonał szczegółową rewizję roczną i drobne poprawki turbiny; w kilka tygodni później zaszło wspomniane wyżej wyłamanie zęba pompki oliwnej i zatarcie czopa jej wałka, które szybko zostało poprawione. W maju turbina musiała być zatrzymana wskutek silnych zaburzeń we wnętrzu osłony, po otwarciu osłony okazało się, że łożysko oporowe klockowe jest wytopione, a części wirujące zatarły o części stałe turbiny, wskutek czego znaczna ilość łopatek wirnika, bandaży i tarcz nieruchomych zostało uszkodzona. Rys. 11, 12, 13 pokazują uszkodzenia łopatek, bandaży, i kierownic; rys. 14 wyto-

pienie łożyska oporowego. Przy badaniu domniemanych przyczyn wypadku ustalono następujące okoliczności. Wirnik turbiny składa się z kilku kół akcyjnych i bębna łopatek reakcyjnych; wirnik nie posiada tarczy odciążającej nacisk osiowy, cały ten nacisk przejmuje łożysko oporowe klockowe. W dniu wypadku obciążenie turbiny dochodziło do 10000 *kW*, chwilami skoki przekraczały nawet tę liczbę; temperatura przegrzania wynosiła 350°, próżnia w kondensatorze była niedobra wskutek upalnego dnia. Na kilka tygodni wcześniej z okazji prób nowego kotła temperatura pary spadła chwilowo do 220° prawdopodobnie wskutek porwania wody z kotła, wypadek ten nie pociągnął jednak za sobą żadnych zaburzeń lub zmian w zachowaniu się turbiny, co przy silnej konstrukcji frezowanych usztywnionych łopatek jest zrozumiałe. Nieco wcześniej nastąpiło podane wyżej wyłamanie zęba pompki olejowej, przy



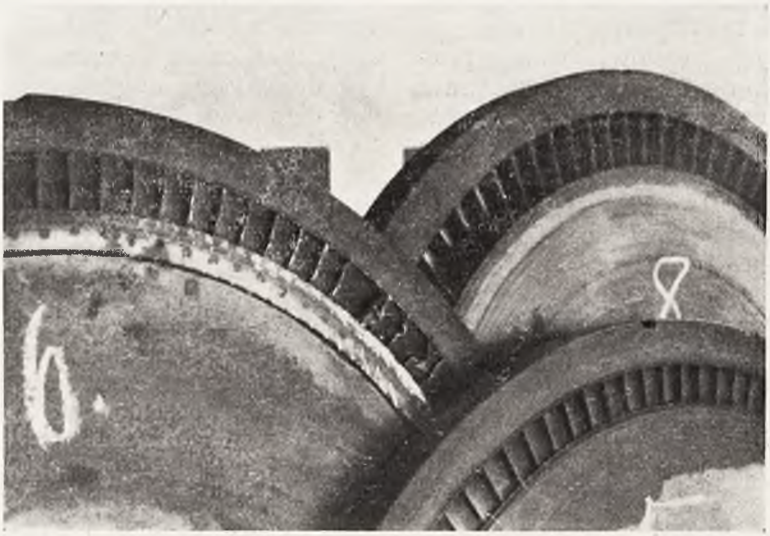
Rys. 11. Uszkodzenie bandaży i łopatek wirnika.

naprawie której zawartość oleju w turbinie nie była spuszczona i filtrowana. Fabryka przewidywała dla łopatek turbiny wzrost temperatury do 400°, a więc zbyt wysoka temperatura nie mogła być przyczyną uszkodzenia. Przebieg wypadków wskazywał jako prawdopodobną przyczynę uszkodzenia wnętrza turbiny wytopienie łożyska oporowego. Przy silnej budowie łopatek wirnika nieuniknione czasem w ruchu uderzenia wodne niezdolne są go uszkodzić; uszkodzenia te zresztą wystąpiłyby bezpośrednio i miałyby inny przebieg. Temperatura przegrzania leży znacznie poniżej temperatury dopuszczonej dla turbiny, toteż i przegrzanie nie mogło być przyczyną zatarcia wirnika. Jedyną przyczyną zatarcia mogło być wytopienie łożyska oporowego i przesunięcie osiowe wirnika aż do zatarcia o części stałe. Jest rzeczą prawdopodobną, że po wypadku z pompką olejową jakieś odłamki metalu lub ścierek pozostały w obiegu ole-



Rys. 12. Uszkodzenia łopatek, bandaży i zatarcia boczne tarcz wirnika.

iowym i z czasem doszły do kanałów chłodzących łożysko oporowe, zatykając je częściowo lub dostając się pomiędzy powierzchnie ślizgowe albo nastawne. Możliwym jest również jakieś zaburzenie w przewodach ssących olejowych. Czynnikiem który mógł spowodować pośrednio wytopienie łożyska oporowego może być również niedostateczna jego wielkość lub niewłaściwa konstrukcja, a wypadki przy podobnych łożyskach w Zagłębiu Węglowym przypuszczenie takie czynią prawdopodobnym. Wprawdzie turbina nie wykazywała przez szereg lat w tym punkcie żadnych usterek, pracowała ona jednak poprzednio przy mniejszych obciążeniach, warunki zaś pracy w dniu wypadku, a mianowicie wysokie obciążenie, skoki obciążenia, zła próżnia, wysokie przegrzanie pary i wysoka temperatura wody chłodzącej — przy jednoczesnym za małym zapasie pewności łożyska klockowego, mogły doprowadzić do jego wytopienia. Dla obliczenia łożyska oporowego fabryki stosują wzór: $\sqrt{p \cdot v^3} = 900$, łożyska te jednak wytrzymują przy próbach wzrost ciśnienia jednostkowego p i prędkości obwodowej v, odpowiadający wzrostowi liczby 900 do 2000, czyli n. p. przeszło czterokrotny nacisk osiowy.



Rys. 13. Zatarcia kierownic.



Rys. 14. Wytopienie łożyska oporowego.

Naprawa była kosztowna i trwała długo, turbina została uruchomiona po paru miesiącach i już po kilku tygodniach ruchu, w październiku, uległa ponownemu uszkodzeniu w warunkach następujących. W sobotę zatrzymano ją dla oczyszczenia kondensatora, a przy uruchomieniu w poniedziałek nad ranem stwierdzono, że pompka oliwna zębata traci olej, wobec czego parokrotnie uruchamiano pomocniczą pompkę parową; po powtórnym straceniu oleju przez pompkę zębatą chciano uruchomić znowu pompkę parową, lecz i ta odmówiła posłuszeństwa, odmówił też posłuszeństwa szybkodziałający zawór parowy, którym chciano zatrzymać zespół, nie działał również przyrząd zabezpieczający od nadmiernego wzrostu obrotów, wskutek czego przy długotrwającym zamykaniu dopływu pary zapomocą kółka ręcznego obroty turbiny doszły do 3500, poczem zespół został wreszcie zatrzymany. Wypadek powyższy pociągnął za sobą jedynie wytopienie łożysk turbiny. Ponieważ w spuszczonym ze zbiornika oleju znaleziono następnie skrawki szczeliwa, kawałek śrubki i drobne włókna, które prawdopodobnie pozostały w obiegu olejowym po ostatnim montażu z przed kilku tygodni, należy przypuszczać, iż przyczyną tracenia ole-

ju przez pompkę było jakieś zatkanie któregoś z wąskich przekrojów obiegu olejowego lub unieruchomienie któregoś z ruchomych organów tego przepływu przez jakieś ciało obce, które dostało się do obiegu przez przeoczenie przy montażu lub przez złą wolę. Wobec stwierdzonych później przy tym samym zespole zaniedbań montażowych, jak złe wycentrowanie głównych wałów, wobec późniejszego stwierdzenia częściowego zatkania kanału olejowego jednego z automatów regulacji turbiny, które przez długi czas jeszcze uniemożliwiało prawidłowe działanie zabezpieczeń, — przeoczenie montażowe było najbardziej prawdopodobną i jedyną przyczyną niedziałania pompek zębatych. Ponieważ szybko zamykający zawór parowy zamykany jest ciśnieniem oleju regulacyjnego, oraz dodatkowo ręcznie, to przy zaniku ciśnienia oleju regulacyjnego zawodzą wszelkie zabezpieczenia, uruchamiające ten wentyl, a więc n. p. przekroczenie obrotów i zanik ciśnienia oleju łożyskowego *).

Wypadek powyższy nasuwa następujące uwagi dla właścicieli turbin:

1) zawór parowy szybkozamykający powinien mieć sprężynę jako siłę zamykającą,

2) siła ta powinna być wyzwalana przez napęd ręczny, automat wzrostu obrotów, zanik ciśnienia oleju tak regulacyjnego jak i łożyskowego, wreszcie przez różne dodatkowe urządzenia zabezpieczające, jak np wskaźnik położenia końca wału,

3) po każdym zaburzeniu ruchu, które mogło spowodować zanieczyszczenie lub przedostanie się ciał obcych do obiegu olejowego wszystkie kanały, rury, zbiorniki powinny być dokładnie oczyszczone i przepłukane, a sam olej przefiltrowany,

4) sito w zbiorniku oleju powinno być kontrolowane periodycznie i czyszczone,

5) przy każdym uruchomieniu turbiny należy wypróbować działanie szybkiego zaworu i różnych automatów,

6) w razie stwierdzenia w ruchu jakichś uchybień działania pomp oliwnych należy jaknajprędzej zespół zatrzymać i błędy wykryć, gdyż prowadzenie zespołu w wątpliwych warunkach pracy obiegu olejowego pociąga za sobą ryzyko wielkiego zniszczenia części turbinowych,

7) elektrownie nie posiadające całkowitej rezerwy we własnych urządzeniach powinny być przyłączone do sieci ogólnej przynajmniej dla zapewnienia sobie rezerwy, gdyż wypadki jak opisany wyżej pociągają za sobą bezpośrednie i pośrednie straty wysokości kilkuset tys. zł., gdy tymczasem połączenie rezerwowe z siecią wspólną kosztuje zaledwie ok. 15 zł. za 1 kW rezerwy rocznie.

*) Wobec ujawnienia się nowych okoliczności, Autor zastrzega sobie prawo do dodatkowych wyjaśnień.

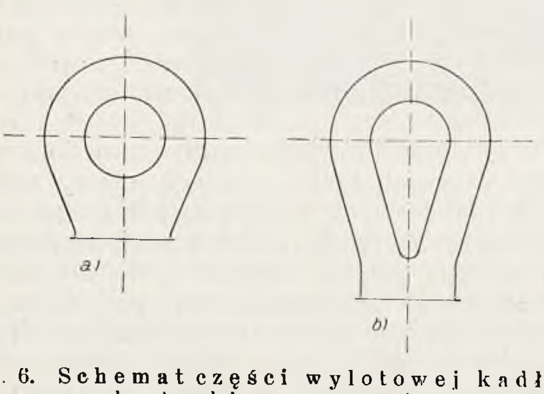
Dr. Inż. ROBERT SZEWALSKI,

ZAGADNIENIA ROZWOJOWE W BUDOWIE TURBIN PAROWYCH I TURBOSPRĘŻAREK.

(NA TLE WRAŻEŃ Z SZWAJCARSKICH I NIEMIECKICH ZAKŁADÓW PRZEMYSŁOWYCH).

(Por. *Technika Cieplna,* 1938, str. 100)

Z innych prac rozwojowych Zakładów Escher Wyss zasługują na uwagę pomiary nad stratami przepływu w części wylotowej turbin. Jak wiadomo, zachodzi tam dość ostre odchylenie strumienia pary z kierunku osiowego w promieniowy, ku kondensatorowi. Skutkiem tego są straty przepływu wyrażające się pewnym spadkiem ciśnienia pary. Znaczy to, że ciśnienie kondensatora nie dochodzi do ostatniego stopnia turbiny i panuje tam ciśnienie wyższe aniżeli w kondensatorze. Głównym źródłem strat są znowu wiry, największe pod łożyskiem, gdyż strumień pary nie może nadążyć za nagłą zmianą przekroju w tym miejscu i odrywa się od ścianki. Otóż w odlewni Zakładów Escher Wyss widziałem już część wylotową osłony uformowaną według nowej koncepcji, z wydłużoną rurą wylotową (rys. 6.). O wynikach tego rodzaju rur brak na razie wszelkich danych.



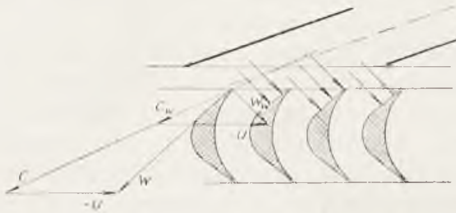
Rys. 6. Schemat części wylotowej kadłuba turbiny parowej: a) w wykonaniu normalnym, b) według projektu f-my Escher Wyss.

Jest rzeczą znamienną, że Zakłady AEG (Allgemeine Elektrizitätsgesellschaft), pomimo że ilościowo stoją na czele produkcji turbinowej świata, nie posiadają wcale większego pola prób, a m. i. — jak to przyznają w publikacjach[4]) — doświadczeń modelowych nie przeprowadzają. Unoszą się szczęśliwie

[4]) Por.: K. Hoffmann „Betriebsicherheit und Ausführungsgrenzen der Dampfturbinen", „Die Wärme" 1936.

na fali koniunktury spowodowanej planem czteroletnim, który dla stworzenia względnie rozbudowy nowych gałęzi produkcji wymaga w pierwszej linii znacznego powiększenia wielkości i ilości zakładów energetycznych. Spostrzeżenie to uczynione mimochodem dowodzi znanego prawidła, że wszelkie większe prace rozwojowe przemysłu związane są przeważnie bądź z kryzysem, bądź też z poszukiwaniem nowych rynków zbytu dla produkcji fabrycznej.

Poważny wpływ na sprawność turbin, mianowicie ich części niskoprężnych, wywiera zawartość wilgoci w parze. Daje się ona we znaki w nowoczesnych zakładach turbinowych tym bardziej, im wyższe jest ciśnienie początkowe pary, im doskonalsza próżnia i im lep-



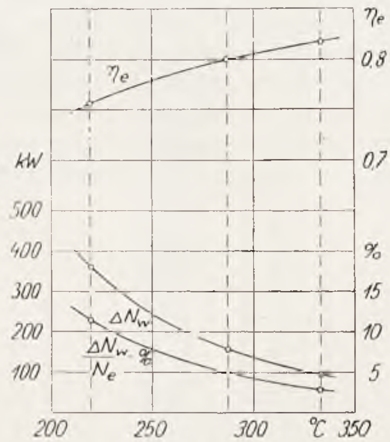
Rys. 7. Uderzenie grzbietowe wody o łopatkę na tle wykresu szybkości dla pary i wody.

sza sprawność turbiny. Ubytek sprawności wynosi przeciętnie coś ponad 1% na każdy procent wilgotności, a tłumaczy się hamującym działaniem wody zawartej w parze, a więc uderzeniem grzbietowym o łopatki turbiny (rys. 7). W istocie para ekspandując w przyrządzie ekspanzyjnym uzyskuje prędkość odpowiadającą spadkowi cieplika pomiędzy stanem początkowym a ciśnieniem końcowym podczas gdy woda uzyskuje w rezultacie tylko szybkość odpowiadającą spadkowi ciśnienia. Przypadek ten służyć może bardzo dobrze za ilustrację różnicy, jaka zachodzi pomiędzy spadkiem cieplika a spadkiem ciśnienia pary, innymi słowy pomiędzy ekspanzją czynnika ściśliwego (pary), a więc przebiegiem termodynamicznym, a przyśpieszeniem nie ciśliwej wody. Jeżeli przyjąć np. pomiędzy ciśnieniami 0,15 i 0,05 *ata* adiabatyczny spadek cieplika 34 *kal*, to odpowiada temu teoretyczna szybkość pary: $c_0 = 91{,}53 \sqrt{34} = 534\ m/s$ podczas gdy szybkość wody uzyskana w tych granicach ciśnień wyraża się skromną liczbą:

$$c_{ow} = \sqrt{\frac{2g\,\Delta p}{\gamma}} = \sqrt{\frac{2 . 9{,}81 . 0{,}1 . 10^4}{10^3}} = 4{,}4\ m/s.$$

W rzeczywistości stosunek tych szybkości nie wynosi 1 : 120, bo strumień pary porywa ze sobą kropelki wody przyśpieszając ich bieg, praktycznie jednak szybkość wypływu wody jest zawsze znacznie mniejsza (3 do 4 razy) od szybkości pary, a przy wlocie do kanału łopatkowego, po złożeniu z szybkością obwodową łopatek, powstaje w ten sposób szybkość względna (w_w) skierowana przeciwnie do ruchu łopatki, a więc hamująca ten ruch (rys. 7).

Zauważono, że przy równej wilgotności pary, ubytek sprawności bywa niejednakowy. Para porywa bowiem ze sobą tym lepiej kropelki wody, im mniejsze są te kropelki. Wielkość zaś kropel zależy od gęstości przepływającej pary i od jej szybkości. Kropla wody wpuszczona do strumienia pary ulega rozerwaniu na mniejsze, jeżeli tylko ciśnienie pary



Rys. 8. Sprawność całkowita (η_e) i moc hamowania wody $\left(\Delta N_w \text{ i } \frac{\Delta N_w}{N_e} \%\right)$ w funkcji temperatury początkowej pary według pomiarów f-my Brown Boveri na turbinie 3000 *kW*, $n = 3000$. (Według Brown Boveri Mitteilungen 1927, str. 121 i 1934, str. 30).

działające na kroplę jest większe od ciśnienia wewnętrznego kropli odpowiadającego jej napięciu powierzchniowemu. W tym względzie przeprowadzono szereg doświadczeń laboratoryjnych w Getyndze, z których wynika, że wielkość kropel maleje z rosnącym ciśnieniem, przy stałym zaś ciśnieniu z rosnącą szybkością strumienia pary [5]). Na podstawie tych doświadczeń można pokusić się nawet o rachunkowe obliczenie efektu hamującego wody.

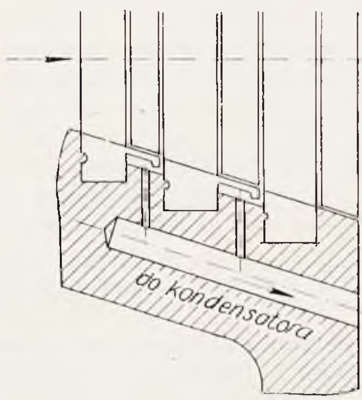
Dla zmierzenia hamującego działania wody wykonała firma Escher Wyss szereg pomiarów na turbince powietrznej, którą zasilano strumieniem powietrza ze sprężarki, zadanym pewną ilością rozpylonej wody. Przy zmianie ilości wstrzykiwanej do powietrza wody zmieniała się moc turbinki o wielkość odpowiadającą hamującemu działaniu wody. Proces ten można też było obserwować z łatwością stroboskopem.

Ciekawą z punktu widzenia pomiarowego kontrolę tych doświadczeń, ale już na autentycznej turbinie parowej, przeprowadzono w Zakładach Brown Boveri. Wykonano tam szereg pomiarów zużycia pary przy zmiennej temperaturze początkowej, a stałym wciąż ciśnieniu początkowym i próżni kondensatora (rys. 8.). Ubytek sprawności turbiny z malejącą temperaturą początkową, po uwzględnie-

[5]) Brown Boveri Mitteilungen 1927, str. 211.

niu zmniejszonego spadku cieplika, można przypisać hamującemu działaniu wody. Pomiary te dostarczyły reguły, że 1% zawartości wilgoci w parze zmniejsza przeciętnie sprawność turbiny nieco ponad 1%.

Zagadnienie wilgotności pary ma jeszcze drugie, nie mniej ważne oblicze. Kropelki wody miotane o grzbiet łopatki wywołują erozję łopatek, niszczą materiał łopatkowy. Następstwem tego faktu jest znowu pogorszenie się sprawności, a przede wszystkim łamanie się łopatek, co sprowadzić może dalsze, przykre a niebezpieczne konsekwencje. Aby zdać sobie dokładnie sprawę z działania poszczególnych czynników erozji, wielkości kropelek wody oraz ich szybkości, względnie aby ocenić odporność różnych materiałów konstrukcyjnych,



Rys. 9. Schemat odwodnienia łopatek według patentu f-my Brown Boveri.

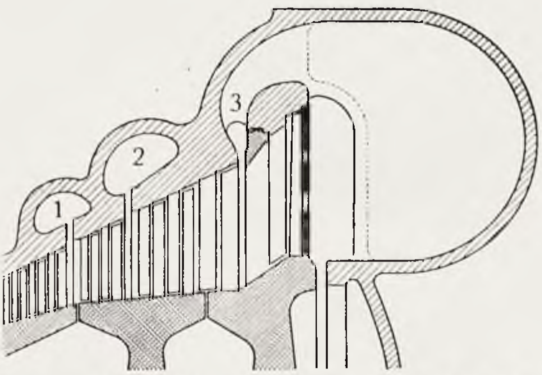
poddaje się w Zakładach Brown Boveri poszczególne próbki, w formie prętów przymocowanych promieniowo do obracającej się tarczy wirnikowej, działaniu cienkiego strumienia wody, tak że woda uderza raz jeden na każdy obrót tarczy o próbkę. Skutki erozji są w tych warunkach zatrważające, gdyż jakich by nie użyto materiałów, wszystkie ulegają w stosunkowo krótkim czasie zniszczeniu. Próba ta pozwala jednak uszeregować materiały w pewnej kolejności. Stosunki w rzeczywistej turbinie są nieco korzystniejsze. Kropelki wody zawarte w parze nie zawsze są dużych rozmiarów. Ale praktycznie biorąc niema i dziś, pomimo postępu w dziedzinie metalurgii, materiałów łopatkowych, które by były bezwzględnie odporne na zawartości wilgoci większe niż 10%. A przecież już dla 30 *ata* ciśnienia początkowego pary i temperatury 400° *C*, przy próżni 96%, przekracza się nawet ten procent wilgotności!

W pewnej fabryce turbin pokazywano mi łopatkę z 5%-owej stali niklowej, która przez omyłkę dostała się pomiędzy łopatki ze stali nierdzewnej na ostatni stopień turbiny kondensacyjnej. Po kilkunastu dniach próbnego ruchu otwarto turbinę, no i omyłka wyszła zaraz na jaw. Łopatka była niemal na całej długości zerodowana i przedstawiała się niczym cudna koronka o fantastycznym deseniu. Pozostałe łopatki ze stali nierdzewnej były jeszcze nietknięte przez erozję.

W większej skali wygląda ta sprawa również dość ciekawie. Tak np. w elektrowni Klingenberg pod Berlinem, gdzie uruchomiono w r. 1927 cztery turbiny systemu AEG po 80.000 *kW*, trzeba było w pierwszych latach co jakie trzy półrocza jedną turbinę wycofać w celu przełopatkowania. Nie lepiej działo się z turbiną systemu Brown Boveri o mocy 160.000 *kW* w elektrowni Hell Gate w Nowym Jorku, zbudowaną dla znakomitej próżni 96,7%. Koszt maszyny wyniósł około 7 milionów fr. szw., ale od r. 1930 wydano już zgórą 1,5 miliona fr. szw. na wymianę łopatek! Kto wie, czy w tych warunkach nie postąpiła lepiej firma Westinghouse, która w pewien czas po tym dostarczyła do tej elektrowni drugiej jednostki tej samej wielkości. Zrezygnowała ona z korzyści, jakie daje wybitnie dobra próżnia, za to zniszczenie łopatek okazało się w praktyce bez porównania mniejsze. Wypada jednak zaznaczyć, że dla turbozespołu 160.000 *kW*, przy danych warunkach pary i spółczynniku obciążenia około 30%, przedstawia pogorszenie próżni kondensatora o 1% wzrost rocznego wydatku na paliwo w wysokości około 400.000 frs. Te liczby, zwiększony wydatek na łopatki i oszczędność na paliwie, mniej więcej się równoważą, może nawet przy ściślejszym porównaniu zyskuje alternatywa Brown Boveri jako ekonomiczniejsza, ale ruchowo jest niewątpliwie przyjemniej nie wycofywać maszyny dla przełopatkowania. Jeśli już mowa o turbinie Hell Gate 160.000 *kW*, warto przytoczyć, z jakimi ilościami wody ma się tu do czynienia w ostatnim stopniu turbiny. $G_w \simeq 160000 \cdot 4{,}5 \cdot 0{,}1 = 70\ t$ wody na godzinę.

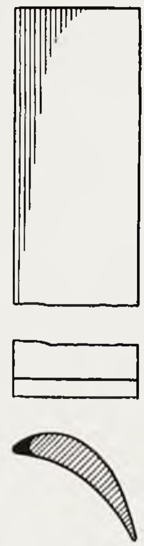
Jakie środki ma do dyspozycji konstruktor dla walki z erozją? Zostawiając na uboczu kwestię parametrów pary, ciśnienia początkowego i temperatury, oraz próżni, jako podyktowanych raczej innymi względami, można rozróżnić dwa główne środki zaradcze: 1) zmniejszenie zawartości wilgoci w parze, 2) zastosowanie odpowiednich materiałów łopatkowych odpornych na erozję. (W tym drugim wypadku pozostaje oczywiście hamujące działanie wody na łopatkę). Pierwszy cel osiąga się albo przez ponowne przegrzanie pary w trakcie ekspanzji, gdzieś pomiędzy dwoma cylindrami turbiny, i jest to konieczne w wypadkach, gdy ciśnienie początkowe przekracza około 50 — 70 *ata* (zależnie od temperatury początkowej), bądź też przez mechaniczne wydzielenie wody z pary. Ten sposób, który na lepiej wynika z rys. 9, jest bardzo zręcznie zastosowany w turbinach systemu Brown Boveri i pozwala na usunięcie około 30% wody z pary i to wody w formie kropel największych, a zatem i najszkodliwszych. Dzięki sile odśrodkowej gromadzi się wilgoć przeważnie w zewnętrznych partiach kanału łopatkowego i stąd uchodzi przez system kanalików do kondensatora. Skuteczność tej konstrukcji, chro-

nionej patentem, a zarazem, jak by to powiedzieć, jej smak ,polega na stosownym doborze przekrojów tych kanałów, aby z jednej strony cała wyrzucona z łopatki ilość wody mogła odpłynąć do kondensatora, a z drugiej strony, aby straty na parze uciekającej wszak tą samą drogą były jak najmniejsze. Podobne rozwiązanie stosowane w niektórych turbinach akcyjnych, dzięki obecności bandaży łopatkowych, jest znacznie mniej skuteczne, choć — przyznać trzeba — i mniej potrzebne. Dalszym bardzo skutecznym sposobem zmniejszenia wilgoci w parze, stosowanym za przykładem angielskim w turbinach dużej mocy, jest odprowadzanie części pary z zewnętrznych partii łopatek, a więc najbardziej zawilgoconej, z przedostatniego stopnia wprost do kondensatora, z pominięciem stopnia ostatniego (rys. 10).



Rys. 10. **Odwadnianie pary w turbinie metodą Baumanna.** (Według Brown Boveri Mitteilungen 1934, str. 31).

Co się tyczy materiałów łopatkowych, stwierdzić należy w tej dziedzinie dość daleko idące uzgodnienie poglądów na właściwości i cechy materiałowe, które uważać należy za pożądane. Jest to poważny krok naprzód, jeżeli zważyć istniejącą do niedawna rozbieżność poglądów na tę sprawę, i to chaotyczne, bezradne wprost poszukiwanie odpowiedniego rozwiązania. Po stali zwykłej maszynowej przyszła kolej na 5%-ową stal niklową, następnie na mosiądz niklowy i metal Monella, potem na całą gamę stali nierdzewnych, a więc chromo - niklowych o strukturze austenitycznej i martenzytycznej, wreszcie na pewne gatunki stali specjalnych, jak WF 100, *KW* 10 i t. d., z domieszką wolframu i manganu. Dziś ustalono już, że na łopatki narażone na erozję nadają się tylko materiały o wybitnej wytrzymałości na zmęczenie (po niemiecku: Schwingungsfestigkeit). Uderzenie kropli wody o łopatkę ma bowiem dzięki własnościom sprężystym materiałów ten charakterystyczny przebieg, że siła uderzenia rośnie od zera do pewnego maximum, które następuje w chwili wyrównania szybkości kropli wody i łopatki, a potem znów maleje do zera. Nie jest to co prawda przebieg sinusoidalny, jaki stosuje się przy oznaczaniu wytrzymałości materiału na zmęczenie, ale daje nam bądź co bądź niezłe pojęcie o przydatności materiału jako tworzywa łopatkowego. Dla stali konstrukcyjnych wzrost wytrzymałości na zmęczenie i twardości w stopniach Brinella idą mniej więcej w parze. Toteż utarło się już klasyfikować materiały łopatkowe według ich twardości, oczywiście zawsze z tym zastrzeżeniem, że idzie ona w parze z wytrzymałością na zmęczenie. Wiadomo skądinąd, że wytrzymałość na zmęczenie rośnie z dokładnością obróbki, a więc z gładkością powierzchni, wobec czego poleruje się niekiedy powierzchnie łopatek, a nadto pociąga się je też warstewką



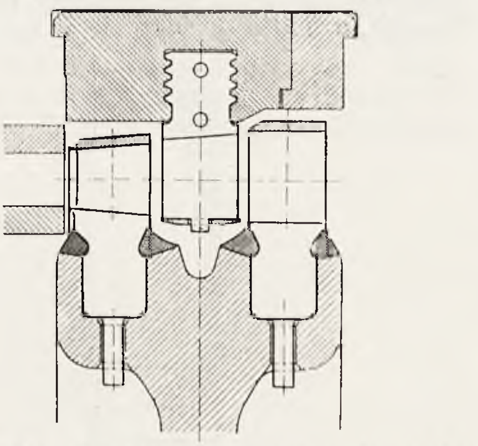
Rys. 11. **Łopatka turbinowa hartowana powierzchniowo.** (Według Brown Boveri Mitteilungen 1934, str. 29).

niklu, która póki nieuszkodzona chroni łopatkę również przed korozją i pozwala jej wykazać pełną wytrzymałość na zmęczenie.

Wykonania fabryczne są bardzo różnorodne. Firma Brown Boveri stosuje na łopatki stale nierdzewne i hartuje na powierzchni zewnętrzną część krawędzi wlotowej (rys. 11), firma AEG stosuje bądź to bardzo twardą stal manganową (do 400° Br.) bądź też, podobnie jak Brown Boveri, utwardza powierzchniowo krawędzie wlotowe do około 600° Br., firma Siemens Schuckert stosuje 5%-ową stal niklową, a część krawędziową, przylutowaną lub przyspawaną do łopatki, z specjalnie twardego stopu, firma Escher Wyss zadowala się przeważnie 5%-ową stalą niklową i powleka łopatki dodatkowo warstewką niklu drogą galwanizacji. Tak więc wykonania poszczególnych fabryk odbiegają w szczegółach daleko od siebie, ale w zasadzie zmierzają wszystkie do tego samego celu, zapewnienia łopatkom dużej wytrzymałości na zmęczenie. O słuszności tego poglądu może świadczyć m. i. model zerodowanej łopatki ze stali nierdzewnej oglądany często w praktyce ruchowej, w której miejsce dokoła drutu wzmacniającego, mimo woli utwardzone na powierzchni w czasie lutowania, okazuje się odporne na

działanie erozji. W żadnej z fabryk nie widziałem natomiast łopatek z metalu Monella, gdyż jest on wielokrotnie droższy od najdroższych nawet stali stopowych.

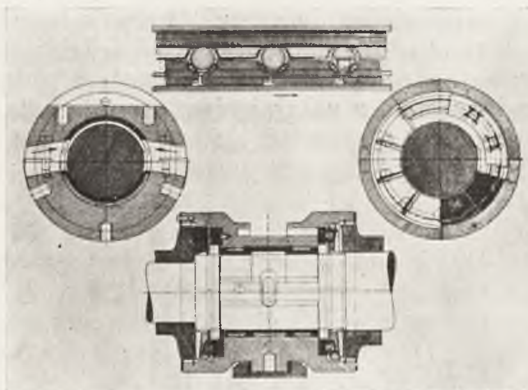
Obok erozji poważnym wrogiem łopatek są drgania. O ile łopatka drga w pobliżu strefy spółbrzmienia, natenczas skutkiem zmęczenia materiału ulega szybko zniszczeniu. To też ważną rzeczą w konstrukcji turbin jest znajomość częstości drgań własnych łopatek. Obliczenie nieraz bardzo złożone, zwłaszcza wobec usztywniającego działania różnych



Rys. 12. **Koło Curtis'a dla pary wysokoprężnej z łopatkami przyspawanymi do wieńca.** (Według Brown Boveri Mitteilungen 1936, str. 132).

drutów wzmacniających i bandaży, wymaga potwierdzenia przez doświadczenie, a w każdym razie wyprowadzenia z doświadczeń spółczynników, jako niezbędnej podstawy obliczeniowej. W Zakładach Brown Boveri służy do tego celu urządzenie składające się z wirującej tarczy posiadającej na obwodzie wykrój, przez który przedostaje się, raz na każdy obrót, strumień sprężonego powietrza na łopatki i pobudza je do drgań. Jeżeli ilość impulsów zrówna się z częstością drgań własnych łopatek, następują dobrze wyczuwalne, a nawet i dobrze widzialne drgania. Z ilości obrotów tarczy i ilości przygotowanych w niej wykrojów otrzymuje sie tą drogą krytyczna częstość impulsów będącą częstością drgań własnych łopatek. Urządzenie jest bardzo proste. W fabryce Siemensa pobudza się łopatki do drgań, wytwarzając dokoła nich zmienne pole magnetyczne. Zmieniając częstotliwość prądu (poza warsztatem) można wywołać spółbrzmienie i ustalić tym samym poszukiwana częstość drgań własnych łopatek.

Z drganiami łopatek mamy przede wszystkim do czynienia w części niskoprężnej turbin, gdzie łopatki posiadają pokaźna długość. Na inne niebezpieczeństwo narażone są łopatki w stopniu regulacyjnym, a więc w pierwszym stopniu turbin, tam gdzie ciśnienia pary są szczególnie wysokie. Z powodu częściowego zasilania, właściwego każdej nowoczesnej regulacji turbin, łopatki narażone są na okresowo powtarzające się uderzenia pary i to pary o dużej gęstości, a zatem uderzającej z bardzo znaczną siłą. Jeżeli wziąć przy tym pod uwagę wysoką temperaturę ośrodka, dalej dodatkowe obciążenie siłami odśrodkowymi, wreszcie znaczną koncentrację naprężeń w przekrojach przejściowych łopatki, okazuje się, jak ciężkie są warunki pracy tych elementów. Praktyka ostatnich pięciu lat wykazała niemało wypadków łamania się tych łopatek, pomimo stosowania do ich wyrobu stali nierdzewnych (chromo - niklowych) o wysokiej granicy pełzania. Uszkodzenia zaczy-



Rys. 13. **Łożysko oporowo-nośne syst. Brown Boveri** (stare wykonanie). (Według katalogu f-my Brown Boveri).

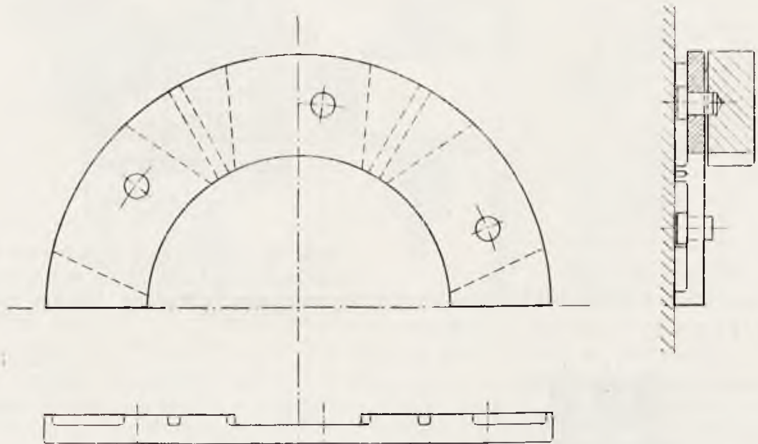
nają się zwykle od obluźnienia łopatek w rowkach tarcz wirnikowych, po czym po pewnej ilości godzin pracy pojawiają się pierwsze rysy i wreszcie przełom o charakterystycznej strukturze muszlowej. Znane są również wypadki, gdzie cały rząd łopatek przesunął się w kierunku obwodowym, aż wypadła jedna łopatka, a za nią kolejno sąsiednie. Aby ustrzec się przed tego rodzaju niespodziankami przedsięwzięła firma Brown Boveri szereg charakterystycznych prób z łopatkami spawanymi. Pierwszą była próba spawania po dwie sąsiadujących ze sobą łopatek po to, aby uderzenie na jedną z łopatek przenosiło się od razu na dwie, jako całość znacznie sztywniejszą. Próby te doprowadziły w wyniku do zamocowywania łopatek na tarczy wyłącznie przez spawanie, tak że o jakimkolwiek rozluźnieniu wiązania łopatek nie może być już mowy. Konstrukcja nieco droga, wymagająca pracy wprawnego spawacza, okazała się podobno jednak w praktyce bardzo dobra, znajduje m. i. zastosowanie w turbinie o mocy 36.000 *kW* ustawionej w Witkowicach, pracującej parą o ciśnieniu 120 *at* i przegrzaniu do 480° C. Ta śmiała konstrukcja (rys. 12) [6]) stanowi niewątpliwie poważny krok w kierunku dalszego jeszcze podniesienia pewności i niezawodności ruchu parowych turbin.

Ogromnie ciekawie z punktu widzenia

[6]) Obecnie stosowane jest nieco inne rozwiązanie konstrukcyjne.

konstrukcyjnego przedstawia się rozwój łożyska oporowego systemu Brown Boveri. Jest to oczywiście łożysko segmentowe, typu Michell'a. Pierwotna konstrukcja łożyska obejmowała segmenty o podparciu punktowym na kulkach, których zadaniem było możliwie doskonałe wyrównanie nacisków działających na poszczególne klocki (rys. 13). W nowej konstrukcji zademonstrowała firma Brown Boveri podparcie segmentów wzdłuż krawędzi i to podparcie sprężyste przy pomocy odpowiednio wykształconego pierścienia (rys. 14). Niema już w nowym łożysku specjalnego urządzenia do wyrównywania nacisków (kulek), ale sprężyste, w gruncie rzeczy indywidualne podparcie poszczególnych segmentów spełnia to zadanie samo przez się w sposób doskonały. Nowa konstrukcja jest prosta w wykonaniu, tania, łatwa w montażu. Samonastawialność i swoboda segmentów jest tu wręcz doskonała. Pod tym względem stanowi przez to dla wyrównania nacisków działających na poszczególne segmenty, nacina się żebra frezem, aby nie przenosiły momentów podporowych. Tak więc przedstawia się nowa konstrukcja jako logicznie przemyślana, czyniąca zadość postulatowi dużej niezawodności, a zarazem prosta i tania.

Dla wyjaśnienia całości złożonego problemu łożyska oporowego urządziła firma Brown Boveri zakrojone na dużą skalę doświadczenia. Zbudowano w tym celu specjalną maszynę do próbowania łożysk. o napędzie hydraulicznym. Doświadczenia, które przeprowadzano każdorazowo aż do zupełnego zniszczenia segmentów łożyska, miały wykazać wpływ: ilości oliwy, jej ciśnienia i temperatury, oraz pewnych czynników konstrukcyjnych na obciążalność łożyska. Miano wypróbować w tym względzie różne materiały na segmenty, przeważnie różne gatunki brązów, wreszcie miano zbadać różne konstrukcje ło-

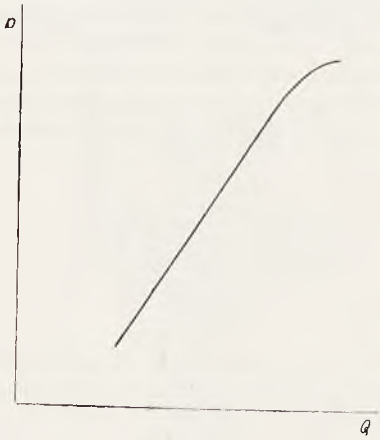


Rys. 14. Łożysko oporowe syst. Brown Boveri, segmentowe ze sprężynującym pierścieniem. Widok na połówkę pierścienia.

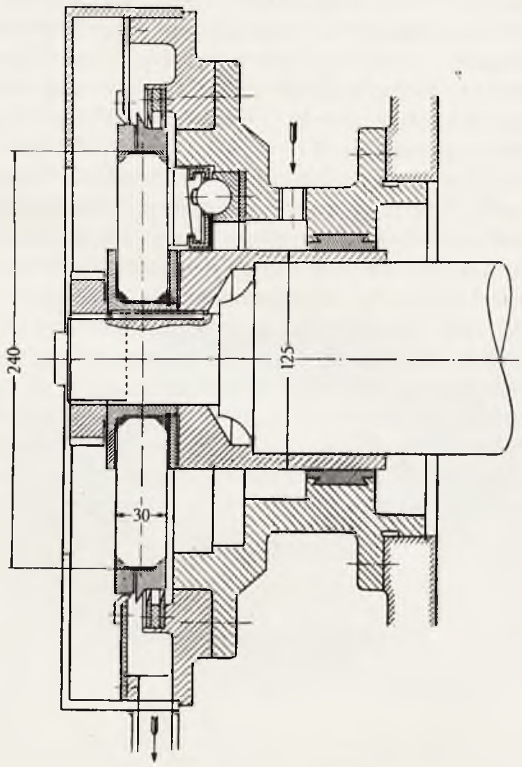
nowa konstrukcja istotny postęp, gdy pierwotna konstrukcja grzeszyła pewnym przeładowaniem elementów, współzależnością ich i brakiem dostatecznej swobody segmentów nośnych. Można sobie wyobrazić, że segmenty zacinały się tu i ówdzie, np. skutkiem sztywności łączącego je drutu, a wtedy pięknie pomyślany mechanizm do wyrównania nacisków był nieczynny i nie chronił poszczególnych segmentów przed nadmiernym obciążeniem. Sprężysty pierścień podpierający nowego łożyska (rys. 14), ze względów montażowych wykonywany dwudzielnie, podzielony jest żebrami na tyle części sprężynujących, ile jest segmentów nośnych. Aby segmenty przylegały równo swą powierzchnią, otrzymują części nośne pierścienia równe długości tak na obwodzie zewnętrznym (L_z) jak i wewnętrznym L_w), wobec czego żebra otrzymują charakterystyczny kształt wycinków piercienia kołowego. Wszystkie segmenty opierają się na równej długości częściach sprężystego pierścienia. Dla wyrównania własności sprężystych poszczególnych części pierścienia, a żyska. Przy tej sposobności mierzono też termoelementami temperatury samych segmentów w różnych punktach, oraz pracę tarcia łożysk w zależności od takich czynników jak nacisk jednostkowy, ilość obrotów, sposób uszczelnienia łożyska i t. p. Okazało się, że dopuszczalny nacisk jednostkowy w łożysku rośnie z ilością przepływającej oliwy, ale tylko do pewnej granicy, której oczywiście nie warto już przekraczać (rys. 15). Nowa konstrukcja łożyska oporowego okazała się wyżej obciążalną od dawnej, zniosła też dobrze nagłe zmiany obciążenia, jednym słowem okazała się mniej wrażliwa, a przez to bardziej niezawodna w ruchu.

W celu uzyskania bezpośredniego wglądu w zjawiska zachodzące w łożysku w czasie pracy zmontowano normalne łożysko oporowe na szklanym czopie umożliwiającym obserwację z zewnątrz (rys. 16). Przy względnie niskim nacisku, bo wynoszącym tylko 2 kg/cm^2, obserwowano przepływ oliwy przez łożysko, ustawienie segmentów i t. p. Między innymi zrobiono ciekawe spostrzeżenie,

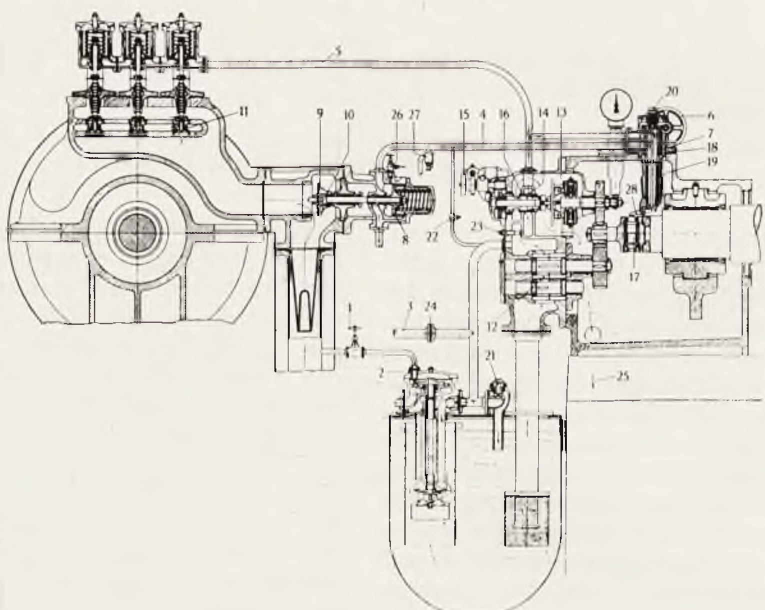
że przy niezupełnym napełnieniu łożyska oliwą, a więc np. wtedy, gdy oliwa ma możność uciekania względnie dużymi szparami pod pierścieniami uszczelniającymi, może się dostać powietrze do warstewki oliwy i doprowadzić ewentualnie do styku metalicznego czopa z panewką, a w dalszym ciągu do jej zniszczenia. Należy zatem dbać o bardzo staranne uszczelnienie łożyska na zewnątrz. Zauważono również, że w wąskich szczelinach pomiędzy segmentami oliwa nie odnawia się należycie, tak że gorąca oliwa z pod jednego segmentu dostaje się następnie pod segment sąsiedni, dając się przy tym jako gorąca łatwiej spod niego wyciskać i nie chłodząc go należycie. Przystąpiono wobec tego do prób ze zmniejszoną ilością segmentów, a zatem z mniejszą powierzchnią nośną. Próby te po-



Rys. 15. Dopuszczalne obciążenie łożyska oporowego w funkcji ilości oliwy.



Rys. 16. Łożysko oporowe dla celów doświadczalnych, z wbudowanym szklanym czopem. (Według Brown Boveri Mitteilungen 1933, str. 119).

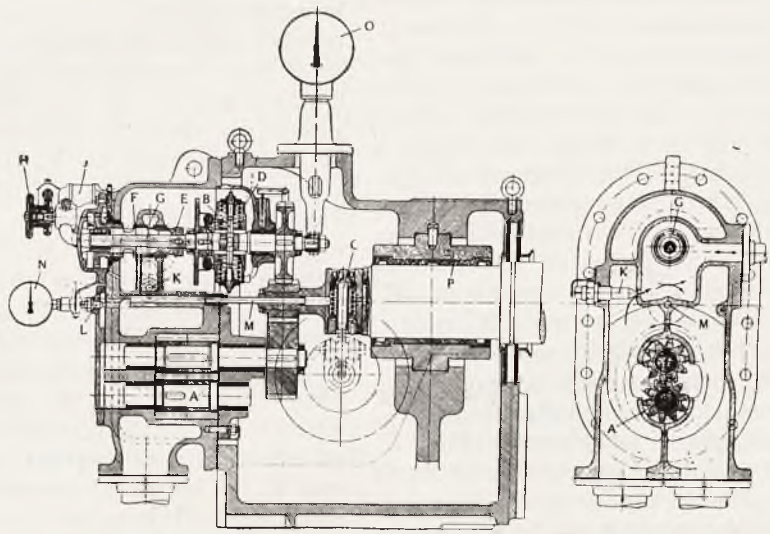


Rys. 17. Schemat hydraulicznej regulacji turbin syst. Brown Boveri:
1) zawór w przewodzie parowym pomocniczego agregatu oliwnego, 2) pomocnicza pompa oliwna o napędzie parowym, 3) przewód oliwny do łożysk, 4) przewód oliwny zaworu głównego (bezpieczeństwa), 5) przewód oliwny zaworów grupowych (regulacyjnych), 6) korba aparatu rozruchowego, 7) suwak sterujący oliwy regulacyjnej, 8) tłok pomocniczy (serwomotor) zaworu głównego, 9) zawór główny, 10) zawór wstępny (odciążający) do zaworu głównego, 11) zawór grupowy (regulacyjny), 12) pompa oliwna zębata, 13) regulator ilości obrotów, 14) szczelina normująca przepływ oliwy regulacyjnej, 15) korba urządzenia do zmiany ilości obrotów, 16) tuleja regulacyjna, 17) regulator bezpieczeństwa, 18) suwak obrotowy urządzenia rozruchowego i szybkiego zamknięcia (bezpieczeństwa), 19) sprężyna, 20) guzik wyzwalający mechanizm szybkiego zamknięcia (bezpieczeństwa), 21) zawór przelewowy, 22) kryza regulacyjna w przewodzie zaworu głównego, 23) kryza regulacyjna w przewodzie zaworów regulacyjnych, 24) kryza regulacyjna w przewodzie oliwy łożyskowej, 25) spływ oliwy zużytej, 26) zawór kontrolny głównego zaworu parowego, 27) zawór kontrolny układu regulacyjnego, 28) dźwignia wychwytowa układu bezpieczeństwa (szybk. zamkn.). (Według katalogu f-my Brown Boveri).

zwoliły w przypadku granicznym zrealizować obciążenie jednostkowe segmentów dochodzące do 520 *kg/cm*², co stanowi jedyny w swym rodzaju rekord. Wykonane przy tej sposobności pomiary temperatury segmentów wyjaśniły ten fenomen niższą wartością pomierzonej temperatury, co świadczy o lepszym w tym wypadku chłodzeniu segmentów, a zatem o niższej temperaturze oliwy występującej z łożyska. W praktyce zatrzymano wobec tego 6 segmentów nośnych, a więc o połowę mniej niż dawniej, względnie niż czynią to dziś jeszcze niektóre inne wytwórnie.

warunkach nie tylko pod wpływem zwiększonej ponad pewną granicę ilości obrotów, ale także pod wpływem jakiejkolwiek innej przyczyny wywołującej spadek ciśnienia oliwy, np. pod wpływem nieszczelności układu oliwnego. Maszynista obsługuje przy uruchomianiu turbiny i przy jej zatrzymywaniu jedynie tylko korbkę rozrusznika dającą się całkiem swobodnie obracać, i pomocniczą pompkę oliwną.

Tłoki zaworów grupowych poddane zostały, przynajmniej jeżeli chodzi o większe jednostki, działaniu pełnego ciśnienia oliwy, podobnie jak zawory główne, podczas gdy



Rys. 18. Regulacja turbin syst. Brown Boveri:
Przekrój przez pompę oliwną, regulator ilości obrotów, oraz regulator bezpieczeństwa wraz z urządzeniem kontrolnym. A — pompa oliwna zębata, B — regulator ilości obrotów, C — regulator bezpieczeństwa, D — ciężarki regulatora, E — nasuwa regulatora, F — tuleja regulacyjna, G — szczelina regulacyjna, H — korba ręczna urządzenia do zmiany ilości obrotów, J — motorek urządzenia do zmiany ilości obrotów, K — śruba regulacyjna w przewodzie oliwnym zaworów grupowych (odpowiada kryzie 23 na ryc. 17), L—śruba probiercza dla kontroli regulatora bezpieczeństwa, M — przewód oliwny do regulatora bezpieczeństwa, N — manometr urządzenia kontrolnego, O — tachometr, P — łożysko turbiny. (Według katalogu f-my Brown Boveri).

Dalszego wybitnego rozwoju pod względem konstrukcyjnym doznała znana hydrauliczna regulacja systemu Brown Boveri (rys. 17). Dużo szczegółów zostało już w tym względzie opublikowanych, wobec czego mogę poprzestać na wymienieniu jedynie najistotniejszych, najbardziej wartościowych zmian konstrukcyjnych. Układ oliwny obejmujący dotychczas smarowanie łożysk i napęd zaworów grupowych, rozszerzony został na zawór główny, względnie — jeżeli jest ich więcej — na zawory główne, które działają teraz automatycznie, tak że odpadł duży trud fizyczny, zwłaszcza w turbinach większych mocy, otwierania i zamykania tych zaworów od ręki, za pomocą korby. Zarazem uzyskano przez to dodatkowe zabezpieczenie turbiny, gdyż zawór główny zamyka się w nowych

oliwa regulacyjna spełnia tu jedynie funkcje rozrządcze [7]). Dla kontroli działania urządzeń bezpieczeństwa przewidziano kilka nowych możliwości. Tak np. można wywołać w czasie pracy turbiny drobne ruchy posuwisto - zwrotne zaworu głównego, a to w celu przekonania się, czy zawór będący zarazem zaworem bezpieczeństwa (Schnellschluss) działa sprawnie (rys. 17). Kontrola taka, odpowiednio często stosowana, działa też zapobiegawczo na tworzenie się osadów (wapiennych) na wrzecionie zaworu. Inne urządzenie pozwala na kontrolę, w czasie biegu luźnego turbiny, zaworów grupowych, a więc kolejności ich otwarcia oraz ciśnień oliwy względnie ilości obrotów, przy których zawory się poruszają.

(D. c. n.).

Z. RYCHLIK, inż.

SPRAWOZDANIE ODDZIAŁU ELEKTROTECHNICZNEGO.
STOWARZYSZENIA DOZORU KOTŁÓW W KATOWICACH.

1. Śmierć przy montażu rozdzielni 6000 V.

Monter J. zatrudniony był przy budowie nowej podstacji transformatorowej i rozdzielni 6000 *V*. Po ukończeniu pracy — montaż mufy kablowej — wszedł on do podstacji i przyglądał się pracy innych. Część kabli była już prowizorycznie przyłączona i znajdowała się pod napięciem. Właśnie przyłączono nowe pole rozdzielcze i stwierdzono brak napięcia w jednej fazie. Przyczyną tego mogło być spalenie bezpiecznika 3, 4 lub 10 *Amp.*, gdyż tej wielkości bezpieczniki założone były na kablu zasilającym jeden za drugim we wszystkich trzech fazach. Niektóre z tych bezpieczników znajdowały się w podstacji, a niektóre poza podstacją. Dla zbadania, w jakim stanie znajdują się bezpieczniki poza podstacją, wyjechał jeden z monterów S. na rowerze, a tymczasem pozostali czekali na niego pod nadzorem starszego montera K. Monter J. nie czekając na powrót S. postanowił na własną rękę zbadać, czy defekt nie tkwi w którymś bezpieczniku w podstacji, otworzył sobie komórkę kabla zasilającego, wyjął noże i chwycił ręką za bezpieczniki 6000 *V*. Były to rurki porcelanowe, wewnątrz których umocpwany był drucik topikowy odpowiedniego przekroju. Mimo wyjęcia noży, bezpieczniki były pod napięciem, o czem J. wiedział J. chwycił za taką rurkę gołą ręką bez użycia kleszczy izolacyjnych, do tego celu przeznaczonych i mimo ostrzeżenia jednego z obecnych ciągnął je po kolei. Przy drugim z kolei został porażony i upadł. Oparzenia były następujące: na prawej dłoni i palcach oparzenia 3 stopnia, poza tym znak wielkości ½ dłoni na prawym ramieniu. Tętno utrzymywało się podobno jeszcze przez dłuższy czas, dlatego wykonywano próby ratowania za pomocą sztucznego oddychania przez 4½ godziny od chwili wypadku, jednak bezskutecznie.

J. był kwalifikowanym elektromonterem niepotrzebnie jednak zabierał się do pracy, dla niego nie wyznaczonej bez dostatecznych środków ostrożności. Przyczyną wypadku była zatem lekkomyślność porażonego.

2. Ciężkie poparzenie przy włamaniu do rozdzielni 6000 V.

Wypadek wydarzył się na kopalni w czasie strajku okupacyjnego, kiedy cała załoga zgromadzona była na dole. Około godz. 15.24 (dokładną godzinę ustalono na podstawie zapisków elektrowni), wyłączył w rozdzielni głównej na powierzchni łącznik olejowy 6 *kV* zasilający rozdzielnię 6 *kV* pod ziemią. Łącznik ten był wyposażony w 3 przekaźniki nadmiarowo - czasowe niezależne, nastawione na 150 — 160 *A* i 1 *sek*. Natężenie prądu, które spowodowało wybicie łącznika było napewno większe, na podstawie notatek elektrowni można było nawet ustalić, że przekraczało ono 300 *A*.

Podejrzewając zwarcie w kablu, który zasilał ważne napędy w kopalni pod ziemią, nie bacząc na trudności związane ze strajkiem dozorca elektryczny postanowił zjechać na dół, aby zbadać dokładnie przyczynę wyłączenia. W tym celu wyjął odłączniki i zabezpieczył kabel od załączenia, po czym porozumiał się z komitetem strajkowym i zjechał z 2 pomocnikami na dół. Na dole udał się najpierw do stacji przetwornic, skąd badał izolację wszystkich kabli. W ciągu tej roboty usłyszano krzyki z chodnika prowadzącego do ślepego szybika. Okazało się, że krzyki te pochodziły od rębacza K., który pojawił się w chodniku oparzony w okropny sposób na rękach i lewej nodze. K. został odwieziony do szpitala, a elektrycy udali się do rozdzielni 6 *kV* na ślepym szybiku, gdzie natrafili na ślady manipulacji K. w szafie rozdzielczej. Drzwi od ubikacji były mianowicie przemocą otwarte, a w wejściu leżała lampa karbidowa K. i hełm skórzany. Na karbidce, na drzwiach od komory i na szafie rozdzielczej były ślady krwi. Drzwiczki wszystkich komórek rozdzielczych były wprawdzie zamknięte, ale ruszty drewniane leżące przed rozdzielnią były odsunięte. W pierwszej komórce rozdzielni były ślady zwarcia na szynach miedzianych i na obramowaniu. Koniec szyny był poza tym wygięty ku przodowi. Przebieg wypadku był zatem prawdopodobnie następujący: K. wszedł do rozdzielni po sforsowaniu drzwi w nieznanych bliżej zamiarach. Zamek składał się ze śruby zagłębionej, otwieranej zapomocą specjalnego klucza. Następnie odsunął ruszt drewniany i otworzył sobie drzwiczki pierwszej z brzegu komórki, po czym ujął obydwoma rękami szynę miedzianą. Wówczas nastąpiło zwarcie i po 1 sekundzie wybił automat w rozdzielni głównej. Tak długo więc pozostawał K. pod działaniem prądu ok. 300 *A*.

Nie zostało stwierdzone, czy K. miał wspólników, czy też był sam w rozdzielni, wydaje się jednak wątpliwe, aby sam K. z okropnie poparzonymi rękami i nogą był w stanie sam dojść pod szyb i to bez światła w czasie stosunkowo krótkim, bo ok. 1½ godziny. Prawdopodobnie K. przypuszczał, że rozdzielnia jako odległa i znajdująca się w stanie likwidacji jest już bez napięcia i wszedł śmiało, chcąc coś ukraść. Tłomaczenie jego, że chciał zabrać deskę z rusztu drewnianego, nie wydaje się prawdopodobnym.

Przyczyną wypadku było włamanie się

K. do rozdzielni i niedozwolone manipulacje na szynach zbiorczych.

3. Śmierć od prądu 6000 V przy włamaniu się do rozdzielni.

Rozdzielnia 6000 *V* była od dłuższego czasu nieczynna i była w stanie likwidacji Do rozdzielni tej położonej na odległym szybiku włamał się ok. południa młody 16-letni chłopak, który przeciął nożycami od drutu siatkę żelazną osłaniającą okno rozdzielni od strony toru kolejowego, następnie rozbił szybę w oknie, otworzył małe okienko i przelazł przez nie do rozdzielni. Tam zaczął odkręcać pręty miedziane w celu kradzieży, aż trafił na pola rozdzielcze znajdujące się pod napięciem. Przez dotknięcie szyn pod napięciem 6000 *V* został zabity, przy czym spaliły się bezpieczniki w sąsiedniej rozdzielni. Wypadek został natychmiast zauważony, gdyż w sąsiednich mieszkaniach zgasło światło i kierownictwo ruchu elektrycznego zostało zaalarmowane i wysłało pogotowie.

Winę wypadku ponosi sam poszkodowany, wypadek powyższy jest jednak wskazówka dla zakładów będących właścicielami odległych i przez dłuższy czas nieczynnych rozdzielni. że dostęp do takich rozdzielni winien być dobrze zabezpieczony przed niepowołanymi odwiedzinami przez silne i trudne do sforsowania kraty, zamki i t. p.

4. Poparzenie w rozdzielni od 5500 V.

Wypadek wydarzył się podczas burzy. Jedna z linii napowietrznych 5500 *V* wiodących na szyb pomocniczy została wyłączona. Starszy ektromonter R. otrzymał zlecenie powtórnego załączenia tej linii. W tym celu R. wraz z pomocnikiem sprawdzili najpierw induktorem izolację linii, która okazała się dobrą. Następnie załączyli linię pod napięcie, po czym R. postanowił jeszcze sprawdzić, czy wszystkie 3 fazy są pod napięciem. W tym celu dotykał po kolei wszystkich 3 faz wskaźnikiem napięcia zbudowanym przez „Land u. See Kabelwerke“ według patentu D. Zippa. Podczas tej czynności nagle wskaźnik napięcia eksplodował, a w polu rozdzielczym utworzył się łuk elektryczny, który oparzył R. w głowę i rękę oraz zapalił na nim ubranie. W ręku R. pozostała tylko rękojeść przyrządu z twardej gumy, reszta zaś rozsypała się w kawałki.

Prawdopodobna przyczyna wypadku jest taka, że podczas burzy wytworzyło się w linii napowietrznej przepięcie, którego nie mógł wytrzymać przestarzały wskaźnik napięcia. Wskaźnik ten składał się z rurki neonowej świecącej i z kondensatora wbudowanego w ebonitową rurkę na ebonitowej rękojeści. Jako najwyższe napięcie ruchu podane było przez firmę 5000 *V*. Wskaźnik ten był w użyciu na tej kopalni od ok. 20 lat.

Przyczyną wypadku było używanie przestarzałych urządzeń. Wskaźniki obecności napięcia powinny być co pewien czas poddawane próbom przy napięciu conajmniej dwukrotnym.

5. Ciężkie poparzenie przy czyszczeniu rozdzielni 5000 V.

Wypadek wydarzył się przy robotach naprawczych, jakie poszkodowany elektromonter G. wraz ze swoim pomocnikiem S. wykonywali na rozdzielni 5000 *V*. G. i S. pracowali w polach rozdzielczych 6 i 7, sąsiednie pola zaś t. j. 4 i 5 oraz 8 i 9 znajdujące się pod napięciem, osłonięte były deskami do wysokości ok. 1 *m* nad poziom podłogi. Podczas pracy ktoś przesunął deskę zakrywającą pola 8 i 9 o jedno pole dalej, tak iż 3/4 pola 8 zostały odsłonięte. Kto to zrobił niewiadomo, gdyż nikt się do tego nie przyznał. G. wszedł jednak przez pomyłkę do pola 8 zamiast do 7, chwycił lewą ręką izolator łacznika 5000 *V*, znajdującego się pod napięciem i uległ poparzeniu lewej dłoni. Po chwilowej utracie przytomności przyszedł do siebie i został odstawiony do lecznicy.

Przyczyną wypadku było niedbałe zabezpieczenie sąsiednich pól rozdzielczych, znajdujących się pod napięciem oraz w pewnym stopniu nieuwaga poszkodowanego. Ustawienie deski o szerokości ok 1 *m* przed polem rozdzielczym znajdującym się pod napięciem nie może być podczas robót naprawczych uważane za wystarczające zabezpieczenie gdyż taka deska zasłania tylko dolną część łącznika, która jako uziemniona jest i bez osłony bezpieczna dla dotknięcia, natomiast znajdujące się pod napięciem zaciski i przewody pozostawione są zupełnie bez osłony. Osłona taka winna być tak wykonana, aby zabezpieczała zatrudnionych przy rozdzielni pracowników od przypadkowego dotknięcia ręką lub narzędziem, gdyż uwaga pracujących jest zaobsorbowana czym innym. Poza tym osłona taka służy do odróżnienia pola wolnego od napięcia, od pól sąsiednich, będących pod napięciem, nie powinna więc pod tym względem pozostawiać najmniejszej wątpliwości oraz winna być tak mocna i silnie przytwierdzona, aby jej odsunięcie nie było rzeczą łatwą. W dobrze prowadzonych elektrowniach istnieją stałe konstrukcje starannie obmyślone, które służą do osłony pól sąsiednich podczas robót naprawczych lub przy czyszczeniu rozdzielni.

6 Potłuczenie przy łączniku powietrznym 500 V.

Wypadek wydarzył się przy wyłączniku powietrznym budowy szczelnej zainstalowanym przy silniku 50 *kW*, 500 *V*. Wskutek eksplozji, jaka powstała wewnątrz łącznika, wyrwana została przednia ścianka łącznika, która uderzyła obsługującego ten łącznik ro-

botnika, pozbawiając go nawet na pewien czas przytomności. Łącznik był jak wspomniano budowy szczelnej, zupełnie zamknięty dla 500 *V*, 100 *A* nominalnie. Silnik służył do napędu podnośnika węglowego na sortowni. Przyczyna eksplozji nie została ściśle ustalona, nie jest jednak wykluczone, że robotnik natychmiast po wyłączeniu silnika omawianym wyłącznikiem załączył go powtórnie na sieć w układzie ruchu, to jest ze zwartym wirnikiem, i spowodował przez to duże uderzenie prądu i automatyczne wyłączenie łącznika. Równocześnie wyłączył łącznik główny transformatora zasilającego sieć 500 *V* nastawiony na kilkaset amperów, a więc uderzenie posiadało widocznie charakter zwarcia. Pod wpływem tak dużego natężenia prądu, łuk elektryczny, jaki powstał miedzy kontaktami, wytworzył wewnątrz łącznika naraz wysokie ciśnienie powietrza, a ponieważ łącznik nie był przeznaczony widocznie do tak wielkiej mocy zwarcia, nastąpiło wyrwanie przedniej ścianki zawierającej drzwiczki wraz z kawałkiem ścianki bocznej.

Wypadek sam był jak widać urazem natury mechanicznej, ze względu jednak na związek jego z urządzeniami elektrycznymi uwzględniono go w niniejszym zestawieniu wypadków.

Przyczyną wypadku jest niedostateczna moc odłączalna wyłącznika.

7. Poparzenie od łącznika powietrznego 500 V.

Przebieg wypadku był podobny do opisanego poprzednio. Robotnik S. włączał silnik 500 *V* zapomocą łącznika powietrznego 500 V, 60 A. Wskutek pęknięcia porcelanowej płyty izolacyjnej we wnętrzu łącznika, na której zmontowane były zaciski łącznika, nastąpiło przy załączeniu zwarcie z uziemionym korpusem we wnętrzu łącznika, które przerzuciło się w zwarcie trójfazowe. Silny łuk elektryczny, jaki powstał w łączniku przy tym zwarciu wytworzył w łączniku duże ciśnienie, które wypchnęło przez szczelinę obok rękojeści gorący łuk elektryczny wraz z parą gorącego metalu. Pary te wraz z gorącym powietrzem oparzyły lewą rękę robotnika, którą trzymał w tej chwili na rękojeści łącznika.

Przyczyną wypadku był błąd izolacji w płycie podstawowej łącznika, wypadek należy za tym zaliczyć do kategorii wypadków ruchowych.

8. Śmierć od transformatora 500 V.

Rębacz R. oddalił się ok. godz. 9.30 z miejsca pracy w kopalni pod ziemią i poszedł w kierunku szybu. Na nieobecność jego nie zwrócono większej uwagi. Dopiero ok. godz. 14.00 zastępca kierownika ruchu elektrycznego wszedłszy w innych celach do podstacji transformatorowej pod ziemią znalazł przypadkiem w kącie za transformatorem zwłoki R. Zwłoki R. leżały w pozycji siedzącej, a lampka karbidowa stała ukryta również za transformatorem. Na ciele R. nie zauważono pierwotnie żadnych śladów, dopiero badanie lekarskie wykryło poniżej lewego łokcia i na lewym ramieniu ślady oparzenia i zadrapania, wobec czego zachodzi prawdopodobieństwo porażenia prądem elektrycznym. Dochodzenia prowadzone w celu wyjaśnienia skąd R. wziął się w komórce oraz w jaki sposób został porażony, nie doprowadziły do żadnego wyniku. Drzwi komórki były otwarte, a zamek wyrwany. Rębacz R. nie miał nic wspólnego ani z podstacją, ani z transformatorem. Również na transformatorze 3000/500 *V*, za którym znaleziono zwłoki, nie stwierdzono żadnych specjalnych śladów. Zaciski transformatora (na izolatorach) były jedynymi gołymi zasiskami pod napięciem w komórce, gdyż inne aparaty były osłonięte blachami. Możliwe więc, że R. przeciskając się obok transformatora w ciasnej komórce dotknął przypadkiem łokciem jednego z zacisków i upadł w kąt, w którym go znaleziono. Stan utrzymania komórki był bardzo nieszczególny. Poza ciasnotą spąg był bardzo nierówny i zawalony walącymi się ze ścian i stropów kamieniami, zalany woda, której całe kałuże wraz z błotem stały obok łączników i dokoła transformatora. Same urządzenia elektryczne były naogół w porządku, jedynie linka uziemiająca łącznik po stronie 500 *V* była urwana, a koniec tkwił bezpośrednio w wodzie.

Przyczyną wypadku było więc przypadkowe dotknięcie części prąd wiodących w niewyjaśnionych okolicznościach.

9. Śmierć przy czyszczeniu transformatora 380/220 V.

Kwalifikowany elektromonter G. otrzymał zlecenie oczyszczenia podstacji transformatorowej. W tym celu dobrał sobie do pomocy pomocnika ślusarza i otworzył z nim razem budynek podstacji. Następnie wyszli po drabinie na pięterko, na którym stały transformatory 6000/2000 *V* oraz 2000/380/220 *V*. Robota polegała na zamieceniu podłogi zanieczyszczonej przez wróble. Po wskazaniu roboty pomocnikowi, G. zeszedł po drabince na dół i wówczas usłyszał krzyk i łoskot upadającego ciała. Okazało się, że P. przekroczył barierkę odgradzającą transformator 2000/380/220 *V* i leżał nieżywy obok tego transformatora. Po bliższym zbadaniu znaleziono na zaciskach transformatora jak i na jego pokrywie perełki stopionego metalu i inne ślady dokładnie odpowiadające śladom na dłoniach i przegubach zabitego. Na transformatorze znaleziono ślady wełny do czyszczenia. Nie ulega więc wątpliwości, że P. zamiótłszy komórkę zabrał się do omiatania transformatorów, w szczególności transforma-

tora 2000/380/220 V, gdyż inne transformatory były wysokie na przeszło 2 m, wymieniony zaś transformator posiadał izolatory akurat na wysokości ok. 1,20 m nad podłogą. Przy ścieraniu pokrywy transformatora dotknął przegubem jednej ręki (lub przegubami obu rąk) zacisków pod napięciem 380 V względem siebie lub też 220 V względem ziemi i został śmiertelnie porażony.

Elektromonter G. nie przyznaje się do wydania polecenia, aby P. oczyścił również pokrywę transformatora, nie wiadomo więc, czy P. działał z polecenia, czy też z własnej inicjatywy. W każdym razie przyczyną jest niedozwolona czynność pod napięciem.

10. Śmierć na elektrowozie od 250 V prądu stałego.

Cz. konwojent elektrowozu, został zabity prądem elektrycznym w przekopie głównym kopalni pod ziemią podczas pracy w elektrowni. Badanie na miejscu wypadku wykazało, że drut ślizgowy znajdował się w tym miejscu na dłuższym odcinku niżej, aniżeli to nakazują przepisy budowy i ruchu, a mianowicie poniżej 180 cm nad główką szyn. W miejscu wypadku wysokość drutu dochodziła do 175 cm, w niektórych jednak miejscach wynosiła nawet tylko 165 cm, przy czym drut nie był chroniony od dotknięcia zapomocą desek ochronnych. Cz. jadąc jako konwojent na tylnym siedzeniu stanął na krawędzi ramy lokomotywy, a więc podniósł się jeszcze w stosunku do szyn o ok. 50 cm i dotknął głową gołego drutu ślizgowego nad równoległym torem, przy czym został śmiertelnie porażony.

Przyczyną wypadku jest przede wszystkim nieostrożność poszkodowanego, który lekkomyślnie stanął na ramie lokomotywy.

11. Lekkie oparzenie prądem elektrycznym od 250 V na elektrowozie.

Wypadek nastąpił w sposób następujący. I. pracował jako konwojent przy elektrowozie i siedząc na przednim siedzeniu posypywał tory piaskiem dla zwiększenia tarcia na szynach w ciężkich miejscach. Podczas tej pracy nacisnął kolanem o kabel elektryczny zainstalowany do oświetlenia elektrowozu. W tej samej chwili nastąpiło uszkodzenie izolacji kabla i zwarcie z korpusem elektrowozu, a łuk elektryczny, który powstał w tym miejscu poparzył I. w udo lewej nogi. I. zgłosił się jako chory dopiero na trzeci dzień po wypadku, a po 17 dniach powrócił do pracy.

Wypadek określić należy jako ruchowy z powodu uszkodzenia izolacji, zastanowienie się jednak nad szczegółami wypadku daje kilka cennych wskazówek ruchowych i przepisowych.

Przede wszystkim wychodzi na jaw, że posypywanie szyn piaskiem nie odbywało się programowo. W tym celu istnieją mianowicie na elektrowozie specjalne piasecznice uruchamiane przez maszynistę zapomocą odpowiednich rączek. Jeśli piasecznice te nie były w użyciu, to albo było to pewne niedbalstwo obsługi elektrowozu, albo była po temu ważna przyczyna np. piasecznice źle funkcjonowały lub piasek był zbyt wilgotny i t. p. Po wtóre jak widać instalacja oświetleniowa elektrowozu była uszkodzona. Nie należy przypuszczać, że uszkodzenie istalacji (kabelka) nastąpiło dopiero w chwili wypadku. Przeciwnie uszkodzenie izolacji istniało na pewno już dawniej, ale zwarcie z korpusem powstało dopiero w chwili przyciśnięcia przewodu kolanem. Wydaje się być również pewnym, że wspomniane uszkodzenie kabla powstało wskutek umieszczenia kabla na zewnątrz skrzyni elektrowozu w miejscu, gdzie właśnie konwojent wskakiwał i wyskakiwał z wozu oraz czerpał piasek.

12. Lekkie poparzenie od prądu stałego 250 V.

Rębacz P. dotknął przypadkiem ręką drutu ślizgowego kolejki elektrycznej pod ziemią i doznał lekkiego porażenia prądem elektrycznym. Wypadek nie pociągnął za sobą zadnych szkodliwych następstw.

Przyczyną wypadku jest nieostrożność, gdyż urządzenia elektryczne były w porządku. Wiele wypadków podobnych do wyżej opisanego uchodzi zapewne uwagi lub nie jest wogóle zgłaszane, gdyż przy tym rodzaju prądu i napięcia, jakie są obecnie powszechnie stosowane przy kolejkach elektrycznych pod ziemią, t. j. 250 V prądu stałego dotknięcie przewodu pod napięciem, nie jest naogół groźne. Niebezpieczeństwo powstaje dopiero od różnych okoliczności ubocznych, jak np. stan toru kolejki, stan wilgotności chodnika przewozowego chwilowy stan psychiczny porażonego, stan jego zdrowia, rodzaj obchwytu, czy całą ręką, czy jednym palcem i t. p. W roku ubiegłym na pięć wypadków badanych przy kolejkach elektrycznych pod ziemią (wszystkie przy napięciu 250 V pr. st.) jeden tylko był wypadek śmiertelny, a cztery spowodowały lekkie oparzenia. Nie należy jednak z tego jednego roku wyciągać zbyt pochopnych wniosków i lekceważyć wypadków przy kolejkach elektrycznych lub zaniedbywanych w jakikolwiek sposób urządzenia kolejek elektrycznych pod ziemią; bywały już lata, w których większość wypadków porażeń prądem elektrycznym stanowiły wypadki kolejkowe oraz takie, w których 100 proc. wypadków kolejkowych stanowiły wypadki śmiertelne.

13. Lekkie poparzenie na elektrowozie od 250 V prądu stałego.

W chwili gdy maszynista elektrowozu kolejki elektrycznej pod ziemią odciągał od-

bierak siedząc w elektrowozie, doznał oparzenia palców prawej ręki płomieniem łuku elektrycznego. Łuk elektryczny powstał prawdopodobnie przy zwarciu przewodu oświetleniowego z korpusem elektrowozu. Można zatem twierdzić, że przyczyną wypadku była zła instalacja przewodów oświetleniowych, lub też nieopowiednie ich prowadzenie.

14. Porażenie od kolejki pod ziemią przy 250 V prądu stałego.

Wypadek wydarzył się w kopalni pod ziemią na krótko przed godziną 14-tą na mijance urządzonej w przekopie. Zwrotniczy zauważył jakiegoś człowieka, który podobno szukał fajki między torami. W chwili po tym nadjechał od szybu pociąg z próżnymi wózkami. Maszynista ustawił wozy na mijance, po czym odpiął elektrowóz i ruszył z powrotem w kierunku szybu. W tym momencie zobaczył człowieka stojącego nieruchomo między wozami i dotykającego głową drutu. Maszynista natychmiast zatrzymał lokomotywę i zrobił zwarcie drutu ślizgowego z ziemią za pomocą zwieraka. Przy pomocy zwrotniczego zdjęli następnie owego zemdlonego człowieka z wozów i po opróżnieniu sąsiedniego toru rozpoczęli sztuczne oddychanie. Po zastosowaniu tych zabiegów w krótkim czasie odzyskał przytomność tak, że o własnych siłach wyjechał na powierzchnię i został odesłany do szpitala. Okazało się, że porażonym był rębacz M., który przechodząc torem zgubił fajkę na torze próżnych wózków. Gdy nadjechał pociąg, M. przeszedł na drugi tor, ale gdy lokomotywa po przestawieniu zwrotnicy nadjechała z drugiej strony, tor był już zajęty i M. chcąc przepuścić elektrowóz, wszedł między ściśnięte wózki i stanął na zderzakach. Wówczas dotknął głową drutu ślizgowego pod napięciem ok. 250 *V* i został porażony. Dzięki szybkiej pomocy został przywrócony do życia.

Wysokość zawieszenia drutu ślizgowego odpowiadała przepisom, gdyż wynosiła 1,85 *m*, chodnik był jednak bardzo wąski i podczas mijania lokomotywy z wózkami M. nie miał się gdzie zmieścić. W chodniku przewozowym M. nie miał prawa przechodzić, gdyż obok oddzielony murem od chodnika przewozowego ciągnął się osobny chodnik dla przejścia ludzi. Przyczyną wypadku zatem była własna nieostrożność poszkodowanego.

15. Śmierć i porażenie przy przewodach od napięcia 120 V prądu stałego.

Wypadek wydarzył się w kolonii mieszkalnej robotniczej, należącej do jednej z kopalń. Pewnego dnia popołudniu spadł rzęsisty deszcz, po którym na ulicach i podwórkach zostały kałuże wody. Podczas tej ulewy zerwał się też silny wiatr, który zerwał przewód elektryczny zasilający oświetlenie tej kolonii Po deszczu ok. godz. 17 podeszła mała pięcioletnia dziewczynka do leżącego na ziemi przewodu, chwyciła ręką drut i doznała porażenia prądem elektrycznym. Na krzyk ofiary i innych dzieci pospieszyli na ratunek rodzice oraz staruszka - babka jednego z dzieci. Babka pierwsza dopadła do dziecka i chwyciła ręką za przewod, ale została porażona. Dopiero inny z sąsiadów uwolnił od przewodu i staruszkę i dziecko, ale podczas gdy dziewczynka doznała tylko poparzenia i przestrachu, to babka utraciła przytomność i przy braku fachowej pomocy zmarła.

Badanie na miejscu wykazało, że napięcie sieci wynosiło 210/120 *V* prądu trójfazowego, z powodu uziemienia punktu zerowego. Zmarła dostała więc napięcie 120 *V* do ziemi. Instalacja transformatora i sieci zasilającej aż do kolonii była wykonana przepisowo, natomiast na samej kolonii sieć rozdzielcza założona była zupełnie wadliwie: mianowicie główna linia elektryczna w kolonii prowadzona była w podwórzu na słupach o wysokości ok. 5 *m*, a same przewody były już wielokrotnie łatane i o niedostatecznym przekroju. Wysokość ta jest za mała, gdyż przy rozpiętościach słupów powyżej 20 *m* wysokość przewodów nad ziemią powinna wynosić conajmniej 6 *m*. kopalnia wiedząc o tym przygotowała już materiał na nową linię elektryczną ustawioną na ulicy na nowych słupach drewnianych, a nawet żelaznych; słupy już były ustawione, a nawet częściowo były już zawieszone na nich przewody do oświetlenia ulic.

Odgałęzienia od istniejących linii do poszczególnych domów wykonane były przy użyciu materiałów zupełnie niewłaściwych: zastosowany był w wielu miejscach drut miedziany okrągły o średnicy 1,5 *mm* w obwoju bawełnianym, a zatem przewód przeznaczony do nawijania maszyn, a nie do linii napowietrznych. Należy podkreślić, iż zarówno przekrój, jak i materiał przewodów był nieodpowiedni, gdyż do nawijania maszyn używany bywa inny gatunek miedzi, o mniejszej wytrzymałości mechanicznej, niedopuszczalnej przy liniach napowietrznych, które muszą być z miedzi twardej. Najmniejszy dopuszczalny przekrój w odgałęzieniach do domów (przyłączach) wynosi 4 mm^2 (użyto 1,8 mm^2). Drut groził więc każdej chwili zerwaniem i prawdopodobnie był już wielokrotnie zerwany, gdyż posiadał zarówno w linii głównej, jak i w odgałęzieniach (przyłączach) bardzo dużo przerw łatanych przez skręcenie ze sobą w sposób prymitywny drutów. W pewnym niezbyt długim przęśle naliczono takich skręceń 9.

Wypadek opisany wydarzył się właśnie pod jednym z takich odgałęzień. Przewody w miejscu wypadku były jeszcze cieńsze niż poprzednio wspomniane. Składały się one

z drutu nawojowego o przekroju ok. 1,2 mm^2, kilkakrotnie łatanego i sztukowanego nawet kawałkami t. zw. plecionki, to jest przewodów używanych w instalacjach mieszkaniowych, również nie nadających się na przewody napowietrzne. Podobno różne poprawki w sieci elektrycznej wykonywali samowolnie mieszkańcy kolonii, co jest absolutnie niedopuszczalne.

Wypadek nastąpił, jak widać z powyższego, z powodu fatalnego stanu sieci elektrycznej niskiego napięcia i dziwić się jedynie należy, że przy tym stanie sieci wypadek nie nastąpił wcześniej.

ZAOPATRZENIE ZAKŁADÓW PRZEMYSŁOWYCH W CIEPŁO I ENERGIĘ MECHANICZNĄ.

Do zaspokojenia potrzeb zakładów przemysłowych w zakresie mocy i ciepła służyć mogą bardzo różne instalacje. Autor poniższego, drukowanego w *Power*, referatu omawia główne czynniki decydujące o wyborze i wyciąga wnioski pozwalające ocenić własciwość zastosowania takiego lub innego schematu.

Przed przyjęciem jakiegokolwiek projektu instalacyjnego dla zakładu przemysłowego należy upewnić się przede wszystkim o jego rentowności ze stanowiska handlowego, gdyż w ten jedyny sposób inwestycja daje się usprawiedliwić. Najlepszym schematem produkcji mocy i ciepła niekoniecznie będzie taki schemat, który zabezpiecza wytwarzanie mocy i ciepła w sposób niezawodny i przy najniższych kosztach rocznych. Najlepszym będzie schemat, w którym poza niezawodnością ruchu można będzie osiągnąć najszybsze umorzenie sum wydatkowanych na instalację. Z dwóch projektów, według których produkować można moc i parę po różnych cenach, lepszym będzie ten, przy którym koszty ruchu i utrzymania będą niższe o ile wydatki na inwestycje są w obu wypadkach jednakowe.

Jeżeli jednak koszty amortyzacyjne nie są jednakowe wówczas różnica w kosztach wytwarzania mocy i ciepła powinna odpowiadać różnicy w kosztach inwestycyjnych tak, aby ostatecznie jaknajmniejsze wydatki w stosunku rocznym mogły być zapewnione. Jeżeli tak nie jest, najprawdopodobniej schemat najtańszy instalacyjnie będzie najodpowiedniejszym, pomimo wyższych bezpośrednich kosztów wytwórczych. Jeżeli przewidywana oszczędnosć na kosztach wytwórczych nie wystarcza na odpowiednią amortyzację większych wydatków inwestycyjnych, schemat zalecający się pozornie niskimi bezpośrednimi kosztami ruchu będzie w rzeczywistości mniej korzystny od schematu, w którym koszty inwestycyjne są mniejsze. Dla porównywania poszczególnych schematów trzeba posiadać koszty inwestycji, koszty ruchu, a przewidywane oszczędności określić i wyrazić w postaci gotówkowej.

Ogólne koszty roczne obejmować powinny wszystkie wydatki ruchu i wszystkie koszty stałe. Wydatki ruchu zależą od zapotrzebowania mocy i ciepła. Lepiej przeto koszt mocy i ciepła ujmować łącznie niż oddzielnie. Poszczególne ceny jednostki mocy i ciepła są, co prawda, ciekawe i powinny być ustalone, jeżeli chodzi o prowadzenie szczegółowej rachunkowości poszczególnych działów produkcji. W zagadnieniach, które nas interesują poszczególne te ceny są zbędne.

Przy wyborze należy zwracać przede wszystkim uwagę na zachowanie niezawodności ruchu. Produkcja każdego zakładu przemysłowego zależy od ciągłości pracy siłowni i każdą nawet krótkotrwała przerwa w pracy siłowni może spowodować straty na produkcji lub na zniszczonych towarach znacznie oczywiście dotkliwsze od możliwych w siłowni oszczędności.

Oprócz zapewnionej amortyzacji i niezawodności działania zwrócić uwagę należy na elastyczność schematu i możność przystosowania go do przewidywanego rozwoju przedsiębiorstwa oraz do zmiennego obciążenia przy pracy.

Poważne również znaczenie posiada wysokość zapotrzebowania energii, czyli współczynnik obciążenia siłowni w ciągu dłuższego czasu (szereg lat). Łatwo bowiem określić dzienny współczynnik obciążenia w określonym czasie. Roczny współczynnik obciążenia określić trudniej, gdyż zależy on od fluktuacji zatrudnienia przedsiębiorstwa obsługiwanego przez siłownię. Jeżeli na rynku panuje ożywienie i zapotrzebowanie na energię utrzymuje się na przewidywanej przy projektowaniu siłowni wysokości, rzeczywiste oszczędności odpowiadać będą naszym przewidywaniom. Jeżeli jednak rynek ulegnie osłabieniu i zakład nasz zużywać będzie mniejszą ilość energii, wówczas w rzeczywistości osiągniemy korzyści znacznie mniejsze od tych, jakich spodziewać się było można. Wobec braku odpowiednich podstaw niema na to innego sposobu, jak liczyć się przy porównaniu różnych schematów z warunkami normalnego stanu rynku.

Parowa siłownia przemysłowa składa się z kotłowni, jako źródła energii cieplnej, oraz z maszynowni wytwarzającej moc, jednym niżej podanych sposobów:

1) kondensacyjne maszyny parowe.

a) wytwarzające moc na miejscu w siłowni przemysłowej,

b) wytwarzające nabywaną na potrzeby wytwórni moc w siłowni okręgowej.

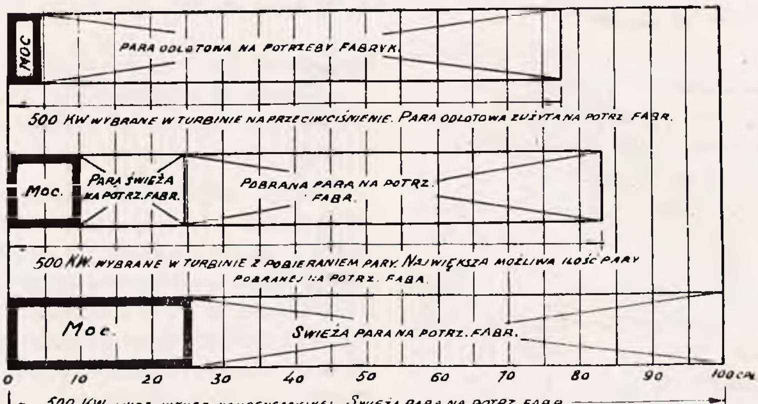
2) maszyny parowe na wydmuch lub przeciwciśnienie, przy czym para odlotowa zostaje całkowicie lub częściowo zużyta do potrzeb przerobu, jako para grzejna.

Projekt kotłowni zależy w znacznie większym stopniu od właściwości obciążenia, sprawności obsługi, ceny i rodzaju paliwa niż od zastosowania wytworzonej pary. Ciśnienie pary w kotle posiada poważny wpływ na sprawność kotłów. Projektując jednak generator energji cieplnej należy mieć przede wszystkim na widoku wyzyskanie zawartego w parze ciepła w najwłaściwszy i najkorzystniejszy sposób.

nej wynosi 4500 *kcal*. Straty więc cieplne w wodzie chłodzącej stanowić będą więcej ciepłostek aniżeli przy pracy na wydmuch potrzeba do wykonania *kWh*.

Korzyści płynące z wyzyskania ciepła w zakładach przemysłowych w porównaniu do instalacji kondensacyjnej pochodzą z możności pokrycia zapotrzebowania mocy i ciepła ze wspólnego źródła i tylko w tych warunkach instalacje na przeciwciśnienie rentować się mogą. Współczesne centrale okręgowe starają się współzawodniczyć pobierając parę z turbin w celu dogrzewania wody zasilającej i zmniejszania ilości pary odlotowej odprowadzanej do kondensatora.

Dla uświadomienia sobie właściwości instalacji trzech wymienionych typów służy wykres przedstawiony na rys. 1.



Rys. 1. Zużycie paliwa w ciepłostkach B. T. U. (= 0,56 *kcal*) w instalacjach na przeciwciśnienie na pobieranie pary i na kondensację.

Rozpowszechnienie turbin parowych i elektrowni okręgowych wywarło decydujący wpływ na ustrój siłowni przemysłowych. Powstanie wysoko - sprawnych turbin kondensacyjnych o wielkiej mocy ułatwiło elektrowniom okręgowym zaspakajanie potrzeb przemysłu. Jednocześnie turbiny pracujące z pobieraniem pary lub z przeciwciśnieniem umożliwiły niejednej siłowni przemysłowej na znaczne obniżenie kosztów wytwarzania energii. Przyczynić się do tego może jedynie korzystniejsze wyzyskanie zawartości w parze ciepła.

Ciepło zawarte w parze najlepiej wyzyskać można w instalacjach z przeciwciśnieniem. Wyzyskanie ciepła spada stopniowo w instalacjach z pobieraniem pary i w instalacjach kondensacyjnych.

Dla przykładu rozpatrzymy siłownię pracującą z przeciwciśnieniem, przy odparowaniu 23 *kg* wody /m^2/ *godz.*, przy współczynniku sprawności kotła 0,60, przy 9-krotnej odparowalności i przy węglu zawierającym 7780 *kcal*. Taka siłownia wytworzy jedną *kWh* oraz 23350 *kcal* w parze odlotowej z każdym 43400 *kcal* paliwa. Dla wytworzenia pary grzejnej w kotle wypadłoby zużyć 38900 *kcal* paliwa. Różnica czyli 4500 *kcal* węgla stanowi koszt paliwa na *kWh*. Ciepło utajone w 9 *kg* pary odlotowej turbiny kondensacyj-

Wykres ten przedstawia zużycie paliwa w jednostkach cieplnych na wytworzenie 500 *kW* mocy i dostarczanie poza tym pewnej jednakowej ilości ciepła w każdym z rozpatrywanych wypadków. Przewidywano przy tym, że para pochodzi z tych samych kotłów, a zapotrzebowanie mocy i ciepła jest we wszystkich wypadkach jednakowe.

W rzeczywistości porównanie wypadnie jednak mniej korzystnie dla instalacyj na przeciwciśnienie. Na rys. 1 przedstawiony został wypadek, kiedy zapotrzebowanie ciepła stale odpowiada zapotrzebowaniu mocy i kiedy cała ilość zawartego w parze odlotowej ciepła może być pożytecznie zużyta. Mamy tu więc możność zużytkowania całkowicie i mocy instalacji, i ciepła zawartego w parze odlotowej. Takie wypadki zdarzają się bardzo rzadko. Ustosunkowanie bowiem zapotrzebowania na moc i na ciepło zmienia się zazwyczaj z godziny na godzinę.

W większości wypadków stosunek ten zmienia się stale. Aby uniknąć strat i wyzyskać możliwie całkowicie rozporządzalne ilości ciepła, należy ustrój siłowni przystosować do istniejących warunków.

Siłownia może być w tym celu złożona z jednostek pracujących z kondensacją i bez kondensacji. Obciążenie każdej z tych jednostek zmienia się równolegle do zmian w zapo-

trzebowaniu pary do celów fabrykacyjnych. Para odlotowa z maszyny bez kondensacji służy do pokrywania potrzeb fabrykacyjnych. Obciążenie tej maszyny na moc odpowiadać powinno zapotrzebowaniu pary. Resztę mocy dostarczać powinna maszyna kondensacyjna. Tego rodzaju warunkom odpowiada maszyna z upustem pary, która jednoczy w sobie maszynę kondensacyjną i bez kondensacji przy włączonych równolegle generatorach (wytwórnicach) albo maszyna z przeciwciśnieniem łącznie z mocą nabywaną z zewnątrz.

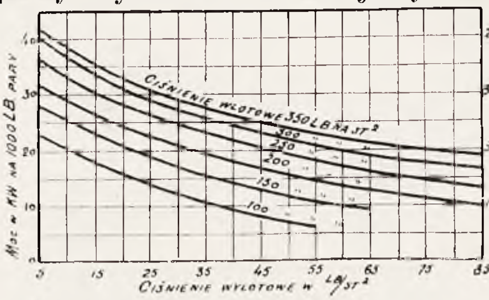
W niektórych zakładach, gdzie zapotrzebowanie pary do celów fabrykacyjnych ulega bardzo silnym wahaniom, bardzo pożytecznym uzupełnieniem instalacji może być odpowiedni zasobnik ciepła. Wówczas zasobnik bierze udział w pokrywaniu zapotrzebowania pary w razie jego zwiększenia i gromadzi energię cieplną w okresach, kiedy zapotrzebowanie się zmniejsza.

Zasoby energii zawarte w nieskroplonej parze, która musi być zużyta na potrzeby fabrykacyjne, posiadają poważne znaczenie. Możność ich zużytkowania zależy od ciśnienia pary w kotle i od ciśnienia pary potrzebnej przy fabrykacji. W zakładach przemysłowych każde z tych ciśnień posiada wielkość ustaloną. Przy projektowaniu instalacji dla nowych zakładów posiadamy w pewnych granicach swobodę wyboru.

Krzywe rys. 2 przedstawiają zależność pomiędzy użytecznym spadkiem ciśnienia a mocą, jaką w turbinach bez kondensacji uzyskać można.

Rys. 3 przedstawia krzywą obciążenia pewnej przędzalni bawełny. Dolna krzywa przedstawia moc, jaką reprezentuje zawartość cieplna nieskroplonej pary wylotowej, zużywanej na cele fabrykacyjne.

Zapotrzebowanie pary na ogrzewanie zabudowań fabrycznych jest zmienne. 90% zużytej w tym celu pary przypada na przerwy w pracy wytwórni. W takiej wytwórni instalacja bez kondensacji nie jest oczywiście usprawiedliwiona. Potrzeby jej należałoby raczej oprzeć na energii nabywanej zzewnątrz oraz na instalacji kondensacyjnej.

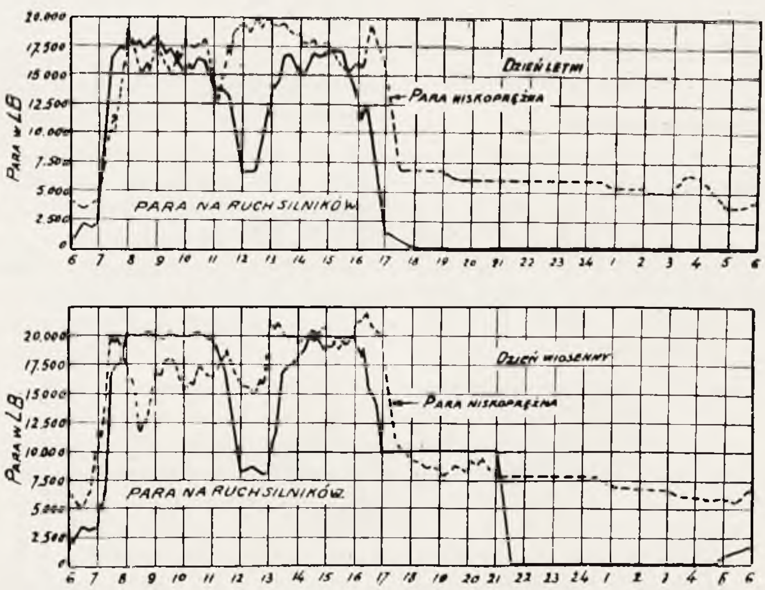


Rys. 2. Moc jaką otrzymać można w turbinach bez kondensacji w zależności od wlotowego i wylotowego ciśnienia pary (1 *lb* = 0,4536 *kg*; 1 *lb/st.*² = 0,06804 *at*).

Zasadniczo powiedzieć można, że nowe zakłady, w których zapotrzebowanie mocy i ciepła odpowiada pow. przykładowi lepiej wychodzić będą na nabywaniu potrzebnej mocy zzewnątrz niż na jej wytwarzaniu we własnym zakładzie.

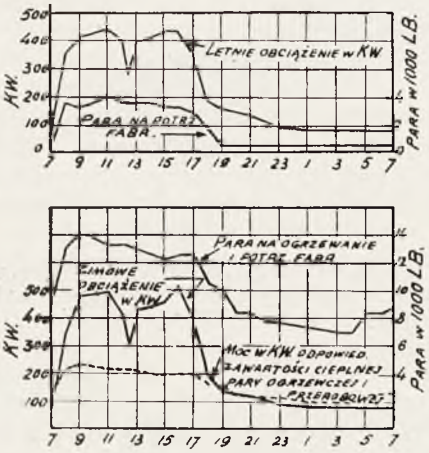
Rozpatrując jednak warunki zakładów istniejących, przyjdziemy prawdopodobnie do odwrotnego wniosku ponieważ przebudowa zastosowana do pobierania mocy zzewnątrz spowoduje zarzucenie istniejącej siłowni, na którą zakład poniósł odpowiednie wydatki.

Rys. 4 przedstawia letnie i zimowe obciążenie pewnego zakładu, który potrzebuje pary grzejnej w ciągu całej doby i zużywa ponad to pewne ilości pary na potrzeby fabrykacyjne. Wartość energetyczną nieskroplonej pary, jaką zakład zużywa na cele fabrykacyjne i na ogrzewanie zabudowań w ciągu doby zimowej przedstawia krzywa kreskowana.



Rys. 3. Krzywa typowego obciążenia w przędzalniach bawełny. 48 godzin pracy tygodniowo. Ogrzewanie budynków wymaga 90% więcej pary podczas przerw w pracy. Zapotrzebowanie pary na ogrzewanie budynków od 2000 do 11000 *kg* pary na godzinę.

Stanowi ona około 30% ogólnego zapotrzebowania, mocy i zasługuje na bliższą uwagę. — Dla zakładów tego typu odpowiednia będzie instalacja z pobieraniem pary albo z silnikiem



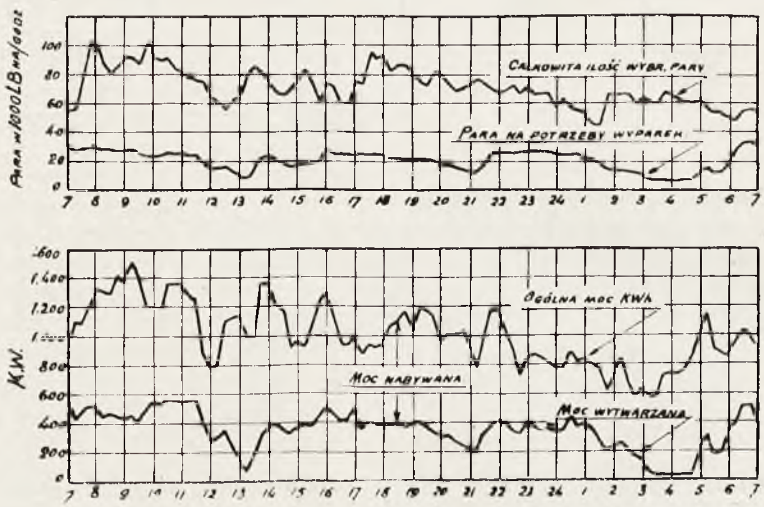
Rys. 4. Letnie i zimowe obciążenie zakładu łącznie ze zużyciem pary na potrzeby fabrykacyjne i ogrzewcze

kondensacyjnym uzupełniona nabywaniem pewnej ilości energii zzewnątrz. Instalacje tego rodzaju należałoby porównać z kosztami korzystania wyłącznie z prądu z centrali okręgowej.

fabryczne i obsługującej potrzeby fabrykacji, obliczona została na rozprowadzania pary świeżej. Zawory redukcyjne mogły być zainstalowane w różnych punktach lokalu fabrycznego. Sieć taka nie wystarczy do rozprowadzania pary pod niskim ciśnieniem t. j. pary odlotowej z turbiny. Zajdzie więc potrzeba nowej sieci rozdzielczej, co zwiększa koszt instalacji i obciąża koszty stałe nowej instalacji. Koszt sieci niskoprężnych przy mniejszych silnikach dochodzi do 300 — 400 zł. na kW.

Wobec okoliczności tego rodzaju zakład, którego charakterystykę przedstawia rys. 4, oszczędziłby rocznie zaledwie 22.000 zł. w porównaniu do wydatków dotychczasowych. Aby jednak osiągnąć powyższą oszczędność musiałby inwestować około 300.000 zł., wobec czego cały projekt, który wydawał się korzystnym ze względu na obniżenie kosztów wytwarzania energii w rzeczywistości nie byłby usprawiedliwiony ze stanowiska rentowności inwestycji.

Rys. 5 zawiera krzywe zapotrzebowania pary i mocy wytwórni zużywającej znaczne ilości pary do celów fabrykacyjnych. Krzywe odpowiadają warunkom typowego dnia roboczego. Całkowita ilość pary, pomijając wyd-



Rys. 5. Zapotrzebowanie pary i mocy w zakładzie zużywającym większą ilość pary.

Bliższe badania zagadnienia ujawniają szereg nieprzewidywanych trudności i przeszkód w warunkach pracy zakładu przemysłowego.

Przede wszystkim chodzi tu o wymiary wytwórnicy. W przykładzie, o którym mówimy zachodzi potrzeba silnika pracującego na wydmóch o 250 kW. Cena jednostkowa na kW wypada w takim silniku znacznie wyższa niż w silnikach większych wymiarów. Obsługa kosztować będzie jednakowo dla mniejszego i większego silnika, w każdym razie będzie ona kosztowniejsza aniżeli w wypadku pobierania energii z centrali okręgowej. Jeżeli silnik przeznaczony jest dla istniejącego już zakładu, może zachodzić wypadek, że sieć, rozdzielcza dla pary ogrzewającej zabudowania

much kilku pompek i przewietrzników dla palenisk kotłów parowych zużywana jest do procesów fabrykacyjnych. Przeważna część pary odlotowej zużywana zostaje w wyparkach. Poza tym para obsługuje suszarki, ogrzewanie zabudowań i ogrzewanie wody zasilającej. Wszystkie te potrzeby zaspakaja sieć rozdzielcza niskoprężna zasilana parą odlotową z pomp i mechanizmów pomocniczych oraz z turbiny pracującej na wydmuch. Turbina pracuje równolegle z siłownią okręgową, która dostarcza przeważającą część zużywanej w zakładzie mocy.

Dolna krzywa przedstawia energię wytworzoną w turbinie przy spadku ciśnienia pary od ciśnienia w kotle do 0,80 *atn*.

Instalacja wykonana została przed paru

laty po dokładnym ustaleniu zapotrzebowania pary do celów fabrykacji i obciążenia wytwórni. Pod względem obciążenia wytwórni i potrzebnego do celów fabrykacyjnych ciśnienia pary warunki były odpowiednie. Znalazły się jednak przeszkody natury instalacyjnej. Kotły pracowały pod ciśnieniem 2 *atn*. Zakład czynny był w ciągu całej doby. Przed zainstalowaniem turbiny parę rozprowadzono po zakładzie pod ciśnieniem kotłowym. Redukcja ciśnienia pary następowała w miejscach jej zużytkowania. Równolegle przeto z ustawieniem silnika pracującego na wydmuch należałoby ułożyć sieć rozdzielczą dla pary niskoprężnej. Kotłownia znajdowała się na pewnej odległości od wytwórni i od podstacji elektrycznej zasilającej wytwórnię prądem. Turbinę zainstalowano przy kotłowni w celu zaoszczędzenia na kosztach obsługi i na kosztach budowlanych, chociaż przy takim rozwiązaniu sprawy wzrosły koszty parowej i elektrycznej sieci rozdzielczej.

Całkowite koszty instalacji wyniosły 1000 złotych na *kW* i spowodowały roczne obciążenie kosztów stałych w stosunku 125 zł. na *kW*. Poza tym wytwórnia miała możność nabywania całkowitej ilości potrzebnej jej energii po 12,5 gr. za *kWh*, t. j. po wyjątkowo niskiej cenie [1]). Pomimo wszystko jednak nowa instalacja okazała się rentowną, gdyż pozwoliła osiągnąć około 120.000 zł. oszczędności w stosunku rocznym, co stanowiło 25% wszystkich kosztów inwestycyjnych. Stało się to przede wszystkim dzięki temu, że silnik pracował bez przerwy w ciągu całej doby. Przy pracy w ciągu 8 godzin na dobę oszczędność w stosunku rocznym wyniosłaby zaledwie ok. 20.000 zł.

Ciekawe są porównania ceny jednostek mocy tej wytwórni w zależności od 24 i 8-o godzinnej pracy na dobę.

Zestawienie na Tab. 1 charakteryzuje wpływ kosztów stałych na cenę pary wytwarzanej przez instalację turbinową i zawiera porównawcze ceny energii nabywanej zzewnątrz i wytwarzanej we własnym zakładzie w silnikach pracujących na wydmuch.

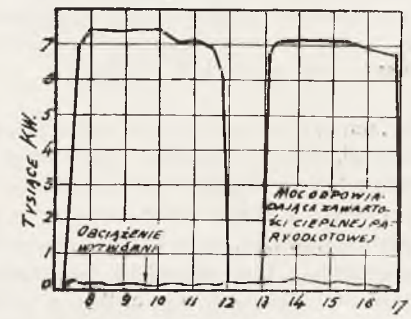
Rys. 6 przedstawia krzywe obciążenia pod względem mocy i pary na cele fabrykacyjne w pewnej farbiarni i wykończarni bawełny.

[1]) W warunkach amerykańskich.

TABELA 1.

	Cena *kWh* przy pracy	
	w ciągu 24 godz.	w ciągu 8 godz.
	w groszach	
Cena *kWh* wytworzonej w turbinie [2])	4	10
Cena *kWh* nabywanej		
a) przy pracy turbiny	14.67	26.60
b) przy nabywaniu całkowitej ilości potrzebnej mocy	12.23	20.50

Jednakowe prawie ilości pary potrzebne są do wytwarzania mocy i do zaspokojenia po-



Rys. 6. Zapotrzebowanie mocy i pary na fabrykach w farbiarni bawełny.

trzebnych fabrykacji. W poszczególnych jednak porach dnia zachodzą poważne wahania. W zakładach takiego typu z powodzeniem pracować mogą turbiny z pobieraniem pary. Zakłady te wymagają większych ilości gorącej wody. Celowe będzie przeto zainstalowanie zasobnika ciepła lub zbiornika gorącej wody w celu wyrównania różnic w zapotrzebowaniu pary i mocy.

W większej części przypadków, które tu rozpatrzyliśmy, zespoły silnikowe pracujące na wydmuch nie były korzystne. Zdawałoby się, że to dyskretuje takie zespoły. Tak jednak nie jest, a przykłady powyższe dobraliśmy jedynie w celu wykazania wszystkich czynników, z jakimi liczyć się należy.

M. K. B.

[2]) Koszty stałe w stosunku do całości wynosiły przy pracy 24 godzinnej 70 %, przy pracy 8 godzinnej 84 %.

KRONIKA HUTNICZA.

Przenoszenie ciepła i temperatury w przestrzeni roboczej pieca przemysłowego[1]).

Podczas spalania przechodzi wyzwolone ciepło reakcji chemicznej w jawne ciepło spalin. Trwałość doprowadzania ciepła wymaga trwałego przepływu spalin. W przypadku wytwarzania ciepła z energii elektrycznej nie trzeba dopływu paliwa, niema zatem przepływu materiału podczas zmiany postaci energii. Początkowa temperatura wyzwolenia ciepła chemicznego zależy od temperatury zapłonu paliwa, końcowa temperatura jest uwarunkowana ciepłem jawnym paliwa i powietrza oraz ciepłem właściwym spalin. Im mniej balastu w procesie spalania t. j. popiołu, wilgoci i azotu oraz im większe ciepło jawne reagujących czynników, tym wyższa te-

[1]) Cz. I. Strumień ciepła i jego pole temperatur. *H. Schwiedessen. Archiv für das Eisenhüttenwesen, 11 (1937/8). Nr. 9. str. 363/74.*

oretyczna temperatura spalania, to znaczy górna granica osiągalnych temperatur. Tej górnej granicy w praktyce się nie osiąga, gdyż już podczas spalania zabiera się ciepło od spalin, a na skutek dysocjacji nie można uzyskać całkowicie procesu spalania. Energia elektryczna może przemieniać się w cieplną, wytwarzając temperaturę dowolnie obraną przez zastosowanie odpowiedniego przewodnika, i to bez straty kominowej, która jest następstwem koniecznego w przypadku spalania przepływu. Ponieważ jednak energię elektryczną wytwarza się najczęściej termicznie z wydajnością sumaryczną ok. 30% musi być ciepło elektryczne droższe i dlatego stosuje się je tylko tam, gdzie bez zalet ogrzewnictwa elektrycznego nie można się obyć.

Autor zajmuje się w dalszym ciągu ciepłem ze spalania. Podczas przepływu część ciepła przechodzi drogą unoszenia i promieniowania na ściany i wsad, a drogą przewodnictwa także nazewnątrz, część zamagazynowują ściany, część oddają na zewnątrz, jako straty pieca, wreszcie część uchodzi w postaci straty kominowej. Mamy zatem do czynienia ze stałym przepływem ciepła we wszystkich punktach przestrzeni roboczej.

Pole temperatur rozciąga się przez ściany przestrzeni roboczej, wsad i spaliny. Pole wyznacza się przez powierzchnie równych temperatur, na których nie ma przenoszenia ciepła przez konwekcję, przewodnictwo i promieniowanie, gdyż warunkiem przeniesienia ciepła każdym z tych sposobów jest różnica temperatur. Najsilniej przenosi się ciepło w kierunkach prostopadłych do powierzchni równych temperatur. Jeżeli dopływ ciepła jest tak duży, jak jego odprowadzenie, to żaden z punktów przestrzeni roboczej nie zmienia swej temperatury. W razie zachwiania takiej równowagi temperatur następują zmiany temperatur, a więc ogrzewanie jest procesem zmierzającym do osiągnięcia równowagi, czyli pole równowagi może być zmienne lub stałe w czasie. W piecach o nieruchomym wsadzie, a więc ładowanych periodycznie ulega pole temperatur zmianom, zmierzających do równowagi. Wadą tych pieców jest wzrost temperatury spalin odlotowych w miarę nagrzewania wsadu. Piece o poruszającym się wsadzie mają pole temperatur stałe czasowo, a zatem ściany mają stałą temperaturę, nie biorąc udziału w ogrzewaniu. W piecach o wsadzie nieruchomym tworzy pole temperatur pośredni obraz przepływu ciepła. Co do kierunku i siły, w piecach o wsadzie ruchomym droga przebyta w piecu pozwala wyciągać wnioski o ogrzaniu. Autor stawia sobie zatem zadania ustalić rachunkowo związek pomiędzy polem temperatur i natężeniem strumienia ciepła w przestrzeni roboczej, a dla praktyki ustalić równania pola temperatur na powierzchniach przechodzenia ciepła przez nie, czyli obliczyć obciążenia powierzchni ogrzewalnych.

Powierzchniami pobierającymi ciepło są te powierzchnie, które są obmywane przez spaliny lub leżą w zakresie promieniowania spalin, wchodzą więc w grę powierzchnie poza piecem, naświetlane np. przez otwory pieca, a nie wchodzą w rachubę powierzchnie robocze pieca, przykryte wsadem, lub powierzchnie wsadu, pokryte żużlem, podczas gdy powierzchnia żużla, czy naczynia do wyżarzania jest powierzchnią (bezpośrednio) pobierającą ciepło. Temperaturę powierzchni wsadu, jako zmienną dowolnie w czasie od zera do dowolnej wielkości można traktować jako zmienną niezależną podczas obliczeń przepływu ciepła; podobnie zmienną niezależną jest temperatura spalin. Temperatura powierzchni ścian jest zależna od pobierania ciepła ze spalin i od oddawania go wsadowi, a zależność jest tym silniejsza im bliżej stanu równowagi. Gdy ściana osiąga równowagę np. w piecu o wsadzie poruszającym się, można z temperatury spalin i wsadu obliczyć temperaturę ścian, jeżeli nie gromadzą one ciepła, a zatem można temperaturę ścian z równań przenoszenia ciepła wyeliminować. Często zachodzi w piecech wymiana ciepła pomiędzy wsadem i ścianami drogą promieniowania. Tę wymianę nazywa autor pomocniczym działaniem powierzchni grzewczych. Działanie to zachodzi, gdy spaliny przepuszczają promieniowanie, a powierzchnie omywane przez spaliny mają różną temperaturę wskutek różnic przewodnictwa cieplnego i pojemności cieplnej swej masy. Zazwyczaj wsad ma większą pojemność cieplną, ale może też i wsad promieniować na ściany jeżeli np. wsad i ściany są „nasycone" ciepłem pod koniec ogrzewania.

Autor w skrócie streszcza zasady przenoszenia ciepła przez konwekcję i promieniowanie. Konwekcję przedstawia autor, jako wymianę ciepła przez ruch płynnych lub gazowych ciał względem stałej ściany, przy czym poszczególne i stale zmieniające się w położeniu wzajemnym cząstki gazu lub cieczy wymieniają ciepło przez przewodnictwo. Duża szybkość przepływu wzmaga siłę wymiany ciepła, a sztucznie wytworzony przepływ powoduje „wymuszoną" konwekcję. Siła konwekcji zależy od nasilenia ruchu gazu w kierunku prostopadłym do ściany, to też rachunkowe ujęcie konwekcji natrafia na trudności i daje wyniki tylko w przypadku pewnego prawidłowego podziału szybkości przepływu na przekroju. W przypadku miejsc w których gaz zatrzymuje się w bezruchu konwekcja nie zachodzi. Dane doświadczalne określają konwekcję w warunkach przepływu ściśle określonych, to też w przypadku pieców równania przenoszenia ciepła przez konwekcje mają znaczenie przybliżeń.

Promieniowanie nie jest związane z materią w odróżnieniu od przewodnictwa, to też przechodzić może także od ciał o niższej temperaturze ku ciałom gorętszym, a tylko dzięki większej emisji ciał o większej temperaturze wymiana energii zamyka się zazwyczaj, jakkolwiek nie zawsze, pobraniem ciepła przez ciało zimniejsze. Zdolność emisji promieni cieplnych zwiększa się w zależności od wzrostu temperatury ciała promieniującego i właściwości materii promieniującej. Ciałami czarnymi nazywamy ciała które wysyłają maksymalne promieniowanie we wszystkich długościach fal — do tych ciał odnosi się prawo *Stefana i Bolzmanna* o proporcjonalności całkowitej wypromieniowanej energii do czwartej potęgi temperatury. Ciała szare wysyłają mniej energii, jak ciała czarne, jednak ich gęstość promieniowania nie zależy od długości fali tak jak i w ciałach czarnych, to też i do nich stosuje się prawo *Stefana i Bolzmanna*. Ciała różne od czarnych i szarych nazywamy selektywnymi, wysyłają one różnej gęstości promieniowania w zależności od długości fali. Selektywnie promieniujące ciała, jak np. gazy i spaliny świecące i ciemne utrudniają obliczenia. Szare ciała w sensie promieniowania cieplnego są rzadkie należą tu ściany pieca i dużo materiałów wsadowych. Zdolność pochłaniania promieni, to znaczy nieprzezroczystość cieplną określa prawo *Kirchhoffa*: Zdolność pochłaniania promieni o pewnej długości fali przez określone ciało jest takie, jak stosunek gęstości promieniowania tego ciała do gęstości promieniowania o tej samej fali, wysyłanego przez ciało czarne. Innymi słowy

zdolność pochłaniania równa się zdolności promieniowania danego ciała. Absorbcja zachodzi wewnątrz ciała, tuż pod jego powierzchnią, a w ciałach stałych pod tak cienką warstwą, że można je uważać za cieplnie nieprzezroczyste. Gazy molekularne wykazują grube warstwy pod którymi odbywa się pochłanianie, to też można je uważać za przezroczyste, a więc nie biorące udziału w promieniowaniu i pochłanianiu. Zdolność odbijania promieni zależy od rodzaju ciała i gładkości powierzchni.

W dalszych rozważaniach używa autor oznaczeń podanych poniżej:

Znak	Znaczenie	jednostki
s_r	Grubość warstwy spalin	cm
A_{grg}	Pochłonięte przez wsad promieniowanie gazów omywających wsad . .	$kcal/h$
A_{gw}	Pochłonięte przez wsad promieniowanie powierzchni ścian	„
A_{rrg}	Pochłonięte przez gazy promieniowanie własne części omywającej wsad	„
A_{rw}	Pochłonięte przez gazy promieniowanie ścian	„
A_{wrg}	Pochłonięte przez ścianę promieniowanie spalin omywających wsad . .	„
A_{ww}	Pochłonięte przez ścianę promieniowanie powierzchni ścian	„
E_g	Promieniowanie wsadu	„
E_T	Całkowite promieniowanie powierzchni spalin o temp. T	„
E_W	Całkowite promieniow. powierzchni ścian	„
Δ_{FW}	Powierzchnia ścian na odcinku przestrz. roboczej	m^2
Q_g	Ciepło pobrane przez wsad	$kcal/m^2$
Q_{rgs}	Ciepło pobrane przez wsad przez promien. spalin	„
Q_{rws}	Ciepło pobrane przez ściany przez promien. spalin	„
Q_{wgs}	Ciepło wymieniane przez prom. ścian i wsadu	„
$S_{r\lambda T}$	Zdolność pochłaniania spalin dla temp. T i fali λ	dl
$\Delta_{SrTCO'_2}$	Cząstkowy stopień czarności CO_2 z warstwy spalin w temp. T	dl
$T_g\,(t_g)$	Temperatura powierzchni wsadu . .	$^0K(^0C)$
$T_r\,(t_r)$	Temperatura spalin	$^0K(^0C)$
α_{cg}	Współczynnik przenoszenia ciepła pomiędzy spalinami i wsadem . . .	$kcal/m^{2\,0}h$
ε_g	Zdolność pochłaniania powierzchni wsadu	dl
ε_{rw}	Wsp. promieniowania pomiędzy spalinami i ścianą	dl
ε_{rg}	Wsp. promieniowania pomiędzy spalinami i wsadem	dl
φ'	Stosunek promieniowania na wsad do promieniowania wysłanego lub odbitego przez ściany	
A_{gg}	Pochłonięte przez wsad promieniowanie powierzchni wsadu	$kcal/h$
A_{grw}	Pochłonięte przez wsad promieniowanie gazów, omywających ściany	„
A_{rg}	Pochłonięte przez gazy promieniowanie wsadu	„
A_{rrw}	Pochłonięte przez gazy własne promieniowanie części omywającej ściany	„
A_{wg}	Pochłonięte przez ściany promieniowanie wsadu	„
A_{wrw}	Pochłonięte przez ściany promieniowanie spalin omywających ściany .	„
CO_2'	Zawartość CO_2 w wilgotnych spalinach	dl
E_{rg}	Promieniowanie powierzchni spalin, omywającej wsad	$kcal/h$
E_{rw}	Promieniowanie powierzchni spalin, omywającej ściany	„
ΔF_g	Powierzchnia odcinka wsadu	m^2
H_2O'	Zawartość pary w spalinach	dl
Q_{rgc}	Ciepło pobrane przez wsad konwekcyjnie	$kcal/h$
Q_{rgw}	Ciepło pobrane przez ściany konwekcyjnie	„
Q_w	Ciepło całkowite pobrane przez ściany	„
S_r	Stopień czarności spalin w średniej temp. przekroju pieca Tm	dl
S_{rT}	Stopień czarności spalin w temp. T	dl
$\Delta_{srTH_2O'}$	Stopień czarności cząstkowy H_2O z warstwy spalin o temp. T	dl
$T_m\,(t_m)$	Średnia temp. przekroju pieca . . .	$^0K(^0C)$
$T_w(t_w)$	Temperatura powierzchni ścian . .	$^0K(^0C)$
α_{cw}	Wsp. przenoszenia ciepła pomiędzy spalinami i ścianą	$kcal/m^{2\,0}h$
ε_{rg}	Wsp. promieniowania pomiędzy spalinami i wsadem	dl
ε_w	Wsp. pochłaniania powierzchni ścian	dl
φ	Stosunek powierzchni wsadu do pow. ścian	—
λ	Długość fali	mm^{-3}

Ponieważ piec nigdy nie ma równomiernej temperatury ścian, wsadu, ani spalin, rozważa autor tylko odcinek pomiędzy dwiema płaszczyznami pionowymi w którym to odcinku zakłada stałą temperaturę ścian, wsadu i spalin. W tym odcinku mamy:

$$Q_g = Q_{rgc} + Q_{rgs} + Q_{wgs} = Q_{rg} + Q_{wg} \quad kcal/h$$

$$Q_w = Q_{rgc} + Q_{rws} - Q_{wgs} = Q_{rw} - Q_{wg} \quad kcal/h$$

przyjmowane przez wsad i pobierane przez ściany.

Człony, uzależnione od konwekcji zależą od powierzchni na której ciepło przechodzi od materiału i różnicy temperatur, a mianowicie:

$$Q_{rgc} = \Delta F_g \cdot \alpha_{cg} \cdot (t_r - t_g) \quad kcal/h$$

$$Q_{wgc} = \Delta F_w \cdot \alpha_{cw} \cdot (t_r - t_w) \quad kcal/h$$

Brak danych o konwekcji pozwala tylko szacować α_c wg. badań nad przepływem w rurach. Autor uważa że $\alpha_c \sim 15 \div 25$ $kcal/m^2 . h\,^0C$. Ściana ma α_c o ok. 15 — 20% niższy, jak wsad, gdyż szybkość spalin przy ścianach jest mniejsza, a wsad ma powierzchnię mniej gładką, jak ściana. Autor zwraca uwagę, że przecenienie α_c mało wpływa na rachunek, gdyż w piecach o wysokiej temperaturze największe znaczenie ma

promieniowanie Q_{wgs} obejmuje wymianę promieniowania między wsadem a ścianą, a więc omawia „pomocnicze" działanie powierzchni grzewczych. Wychodząc z prawa *Stefana* i *Bolzmanna* otrzymuje autor:

$$Q_{rgs} = \Delta F_g \cdot \varepsilon_{rg} \cdot 4{,}95 \cdot 100^{-4} \cdot (T_r^4 - T_g^4) \; kcal/h$$

$$Q_{rws} = \Delta F_w \cdot \varepsilon_{rw} \cdot 4{,}95 \cdot 100^{-4} \cdot (T_r^4 - T_g^4) \; kcal/h$$

$$Q_{wgs} = \Delta F_g \cdot \varepsilon_{wg} \cdot 4{,}95 \cdot 100^{-4} \cdot (T_w^4 - T_g^4) \; kcal_0h$$

W celu obliczenia ε zakłada autor, że warstwa spalin, powierzchnie wsadu i ścian są szare, przy czym ich wypromieniowanie nie zależy od temperatury. Spaliny nie odbijają promieniowania, przepuszczają je jednak, natomiast wsad i ściany odbijają promienie, nie będąc wszakże przezroczystymi. Autor zakłada dalej, że promieniowanie nie wychodzi poza rozważany odcinek pieca, a spaliny mają wszędzie jednakowy stosunek promieniowania wysłanego, niezależnie od grubości ich warstwy. Na podstawie tych założeń ustawia autor równania *Stefana* i *Bolzmanna* oraz *Kirchhoffa*:

dla promieniowania spalin na wsad

$$E_{rg} = \Delta F_g \cdot S_r \cdot 4{,}95 \cdot 100^{-4} \cdot T_r^4 \; kcal/h$$

dla promieniowania spalin na ściany

$$E_{rw} = \Delta F_w \cdot S_r \cdot 4{,}95 \cdot 100^{-4} \cdot T_r^4 \; kcal/h$$

dla promieniowania wsadu

$$E_g = \Delta F_g \cdot \varepsilon_g \cdot 4{,}95 \; 100^{-4} \cdot T_g^4 \; kcal/h$$

dla promieniowania ścian

$$E_w \; \Delta F_w \cdot \varepsilon_w \cdot 4{,}95 \cdot 100^{-4} \cdot T_w^4 \; kcal/h$$

Promieniowanie wsadu zostaje częściowo pochłonięte przez spaliny, częściowo przechodzi przez nie i ulega pochłonięciu przez ściany i odbiciu od ścian. Przepuszczone promieniowanie w ilości φ' przypada na wsad, zaś w ilości $1 - \varphi'$ na ściany, które to promieniowanie częściowo chłoną, częściowo odbijają. Promienie odbite podzielają los wysłanych aż do zupełnej absorbcji:

$$E_{rg} = A_{grg} + A_{wrg} + A_{rrg} \; kcal/h$$

$$E_{rw} = A_{grw} + A_{wrw} + A_{rrw} \; kcal/h$$

$$E_g = A_{gg} + A_{wg} + A_{rg} \; kcal/h$$

$$E_w = A_{gw} + A_{ww} + A_{rw} \; kcal/h$$

Autor oblicza bieg promieniowania, wysyłanego przez wsad:

Wsad wypromieniowuje:

$$E_g = \Delta F_g \cdot 4{,}95 \cdot 100^{-4} \cdot T_g^4 \cdot \varepsilon_g = E_{go} \cdot \varepsilon_g \; kcal/h$$

Spaliny pochłaniają:

$$Ar_{g_1} = E_{go} \cdot \varepsilon_g \cdot S_r \; kcal/h$$

Spaliny przepuszczają:

$$D_{rg_1} = E_{go} \cdot \varepsilon_g \cdot (1 - S_r) \; kcal/h$$

Z ciepła przepuszczonego pochłoną ściany:

$$A_{wg_1} = E_{go} \cdot \varepsilon_g \cdot (1 - S_r) \cdot \varepsilon_w \; kcal/h$$

a odbiją:

$$R_{wg_1} = E_{go} \cdot \varepsilon_g \cdot (1 - S_r) \cdot (1 - \varepsilon_w) \; kcal/h$$

Z odbitych przez ścianę promieni pochłoną spaliny

$$A_{rg_2} = E_{go} \cdot \varepsilon_g \cdot S_r \cdot (1 - S_r) \cdot (1 - \varepsilon_w) \; kcal/h$$

a przepuszczą:

$$D_{rg_1} = E_{go} \; \varepsilon_g \cdot (1 - S_r)^2 \cdot (1 - \varepsilon_w) \; kcal/h$$

Przepuszczone promieniowanie trafa na wsad, a część na ściany. Jeżeli φ' jest częścią padającą na wsad, otrzymamy:

$$A_{gg_1} = Eg_o \; \varepsilon_g \cdot \varphi' \cdot \varepsilon_g \; (1 - S_r)^2 \cdot (1 - \varepsilon_w)$$

oraz

$$A_{wg_2} = E_{go} \cdot \varepsilon_g \; (1 - \varphi') \cdot (1 - S_r)^2 \cdot \varepsilon_w \cdot (1 - \varepsilon_w)$$

Odbite ilości ciepła wyniosą:

dla wsadu:

$$R_{gg_1} = E_{go} \cdot \varepsilon_g \varphi' \, (1 - \varepsilon_g) \cdot (1 - S_r)^2 \cdot (1 - \varepsilon_w)$$

a dla ściany:

$$R_{wg_2} = E_{go} \cdot \varepsilon_g \cdot \varphi' \cdot (1 - S_r)^2 \cdot (1 - \varepsilon_w)^2$$

Z odbitego promieniowania pochłoną spaliny:

$$A_{rg_3} = E_{go} \cdot \varepsilon_g \cdot S_r \; (1 - S_r)^2 \cdot (1 - \varepsilon_w) \cdot [\varphi' \cdot (1 - \varepsilon_g) + (1 - \varphi') \cdot (1 - \varepsilon_w)],$$

a przepuszczą:

$$D_{rg_3} = E_{go} \cdot \varepsilon_g \cdot (1 - S_r)^3 \cdot (1 - \varepsilon_w) \cdot [\varphi' \cdot (1 - \varepsilon_g) + (1 - \varphi') \cdot (1 - \varepsilon_w)]$$

Z przepuszczonego promieniowania część ulega znów pochłonięciu przez ścianę:

$$A_{wg_3} = E_{go} \cdot \varepsilon_g \cdot (1 - S_r)^3 \cdot \varepsilon_w \cdot (1 - \varepsilon_w \cdot [\varphi' \; (1 - \varepsilon_g) + (1 - \varphi') \cdot (1 \; \varepsilon_w) \; kcal/godz.$$

Cząstkowe absorbcje otrzymuje się więc wg szeregu:

$$A = k_o \cdot (1 + k + k^2 + k^3 + \ldots + k^n + \ldots k^\infty).$$

Suma takiego szeregu wynosi: $A = \frac{k_o}{1 - k}$,

a dla naszych równań:

jako absorbcja wsadu

$$A_{gg} = \frac{[\varphi' \cdot (1 - S_r)^2 \cdot (1 - \varepsilon_w)] \cdot E_g \cdot \varepsilon_g \cdot \varepsilon_g}{1 - (1 - S_r)^2 \cdot (1 - \varepsilon_w) \cdot [\varphi' \cdot (1 - \varepsilon_g) + (1 - \varphi') \cdot (1 - \varepsilon_w)}$$

jako absorbcja ścian

$$A_{wg} = \frac{[(1 - S_r) + (1 - \varphi') \cdot (1 - Sr)^2 \cdot (1 - \varepsilon_w)] \cdot E_{og} \cdot \varepsilon_g \cdot \varepsilon_w}{1 - (1 - S_r)^2 \cdot (1 - \varepsilon_w) \cdot [\varphi' \cdot (1 - \varepsilon_g) + (1 - \varphi') \cdot (1 - \varepsilon_w)}$$

jako absorbcja spalin

$$A_{rg} = \frac{[1 + (1 - S_r) \cdot (1 - \varepsilon_w)] \cdot E_{og} \cdot \varepsilon_g \cdot S_r}{1 - (1 - S_r)^2 \cdot (1 - \varepsilon_w) \cdot [\varphi' \cdot (1 - \varepsilon_g) + (1 - \varphi') \cdot (1 - \varepsilon_w)}$$

Ciepło wymienione przez dwie powierzchnie drogą promieniowania jest równe różnicy absorbcji promieniowań, a zatym wymiana ciepła pomiędzy spalinami i wsadem wyniesie:

$$Q_{rgs} = A_{grg} + A_{grw} - A_{rg} \; kcal/h$$

między spalinami i ścianami:

$$Q_{rws} = A_{wrw} + A_{wrg} - A_{rw} \; kcal/h$$

między ścianą i wsadem:

$$Q_{wgs} = A_{gw} - A_{wg} \ kcal/h$$

Jeżeli temperatura spalin jest równa temperaturze ścian lub wsadu, albo ściany i wsad mają jednakową temperaturę, wtedy wymiany niema, a absorbcja jest zerem. Jeżeli nazwiemy $\varphi = \frac{\Delta F_g}{\Delta F_w}$, wtedy dla absorbcji zerowej otrzymamy:

$$\varphi' = \varphi \frac{1+(1 S_r) \cdot (1-\varepsilon_w)}{1+\varphi \cdot (1-S_r) \cdot (1-\varepsilon_w)}$$

Uwzględniając powyższe równanie w obliczeniach absorbcji, otrzymamy następujące współczynniki wymiany ciepła przez promieniowanie:

pomiędzy spalinami i wsadem:

$$\varepsilon_{rg} = S_r \cdot \varepsilon_g \cdot \frac{1+\varphi \cdot (1-S_r) \cdot (1-\varepsilon_w)}{1-(1-S_r) \cdot (1-\varepsilon_w) \cdot [\varphi \cdot (1-S_r) \cdot (1-\varepsilon_g)+(1-\varphi)]}$$

pomiędzy spalinami i ścianą:

$$\varepsilon_{rw} = S_r \cdot \varepsilon_w \frac{1+\varphi \cdot (1-S_r) \cdot (1-\varepsilon_g)}{1-(1-S_r) \cdot (1-\varepsilon_w) [\varphi (1-S_r) \cdot (1-\varepsilon_g)+(1-\varphi)]}$$

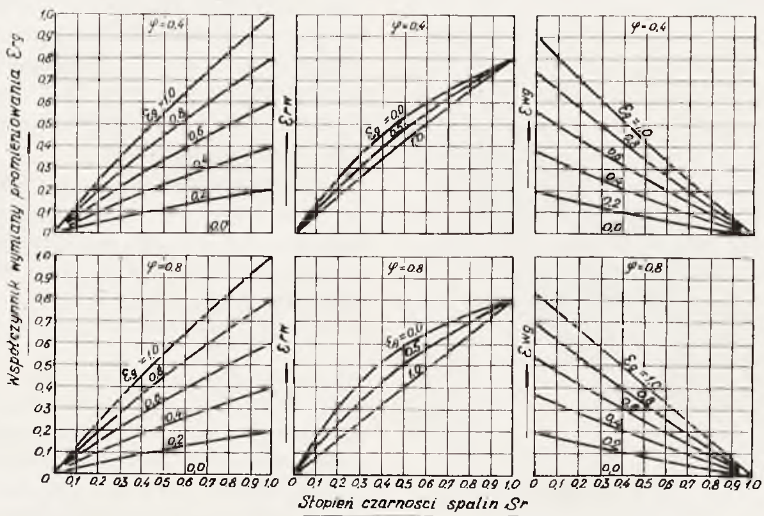
pomiędzy ścianą i wsadem:

$$\varepsilon_{wg} = \varepsilon_w \cdot \varepsilon_g \frac{(1-S_r)}{1-(1-S_r) \cdot (1-\varepsilon_w \cdot [\varphi \cdot (1-S_r) \cdot (1-\varepsilon_g)+(1-\varphi)]}.$$

Jeżeli spaliny są zupełnie przezroczyste cieplne i same nie promieniują, przechodzi ostatnie z wyżej podanych równań we wzór *Nusselta:*

$$\varepsilon \ wg_0 = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_g} + \varphi \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon_w} - 1\right)}$$

Współczynniki wymiany ciepła przez promieniowanie muszą być mniejsze od jedności, gdyż określają odchyłki wymiany ciepła w stosunku do wymiany ciepła pomiędzy dwiema równoległymi płaszczyznami czarnymi. Rys. 1 podaje nomogram do wypośrodkowania współczynników wymiany promieniowania w zależności od zdolności pochłaniania promieniowania przez gazy spalinowe; zdolność pochłaniania ujęto w postać stopnia czarności spalin. Z rys. 1 wynika, że zależność współczynników wymiany przebiega niemal liniowo z zmianą stopnia czarności spalin, gdy zdolność pochłaniania ciepła przez wsad jest duża. Założenie dodatkowe szarości spalin bardzo uprości obliczenia. Zdolność pochłaniania promieniowania przez wsad i ściany wydaje się maleć z temperaturą, jakkolwiek wyniki badań w tym kierunku nie są dostatecznie jasne. Do obliczeń przybliżonych można przyjąć $\varepsilon_w = 0{,}8$, a w niskich temperaturach $\varepsilon_w \sim 0{,}85$. Utlenioną powierzchnię stali można uwzględniać przez $\varepsilon_g = 0{,}85$ do $0{,}95$, aluminium $\varepsilon_g \sim 0{,}035$. Inne metale techniczne mają ε_g, leżące pomiędzy *Al* a *Fe*. Spaliny dają typowy przykład promieniowania, zależnego od długości fali, to też założenie szarości spalin trzeba uważać za próbę wprowadzenia przeciętnej zdolności pochłaniania. Ściśle biorąc odnoszą się przytoczone wyżej obliczenia tylko do jednej długości fali, dla której stopień czarności spalin jest stały. Całkując szarość spalin w całym zakresie promieniowania możnaby dopiero ściśle obliczyć współczynniki wymiany przez promieniowanie dla całego zakresu promieniowania cieplnego, wysyłanego przez ΔF_g, czy ΔF_w. Gdy współczynnik wymiany zależy liniowo od stopnia czarności spalin, można całkowanie wykonać, składając ε z stałej, umożonej przez stopień czarności spalin, jednak obliczoną tak energię wypromieniowaną można znaleść również z prawa *Stefana i Bolzmanna*. Z rys. 1 widać zakresy, w których ε zależy liniowo od S_r, a więc można przeprowadzić wspomniane całkowanie, lub założyć, że spaliny mają własności emisyjne ciał szarych.

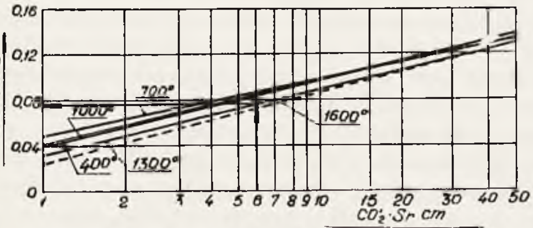


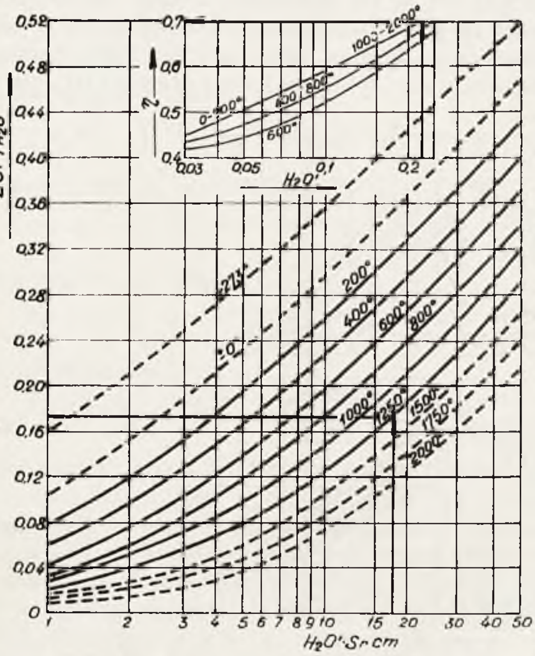
Rys. 1. Współczynniki wymiany promieniowania ε_{rg}, ε_{rw} i ε_{wg} w zależności od stopnia czarności warstwy spalin przy stałej zdolności pochłaniania ($\varepsilon_w = 0{,}8$) powierzchni ścian i zmiennej zdolności pochłaniania promieniowania wsadu (ε_g) dla dwu stosunków powierzchni wsadu i ścian $\varphi = 0{,}4$ i $\varphi = 0{,}8$).

Świecące spaliny zawierają ogrzane konwekcyjnie sądze to też promieniowanie zależy w tym wypadku od gęstości rozmieszczenie sadzy. Ponieważ trudno przewidzieć rozłożenie sadzy, trudno też określić stopień czarności świecących spalin. Pomiary *Eckerta* [V. D. I. Forschungsheft 387 (1937)] umożliwiają wniknięcie w promieniowanie spalin nie świecących. Promieniowanie CO_2 nie zależy od grubości warstwy

a bardzo nieznacznie zmienia się z temperaturą, natomiast promieniowanie pary wodnej zależy od jej ciśnienia cząstkowego i temperatury. Stopień czarności spalin zależy od temperatury, a więc wynikają stąd trzy jego wartości: jako współczynnika własnej emisji, jako współczynnika pochłaniania promieniowania wsadu i współczynnika pochłaniania promieniowania ścian.

Chcąc obliczyć przeciętną zdolność pochłaniania





Rys. 2 i 3. Cząstkowe stopnie czarności spalin uwarunkowane promieniowaniem bezwodnika węglowego i pary wodnej w różnych temperaturach w zależności od iloczynu zawartości CO_2 wzgl H_2O przez grubość warstwy spalin.

spalin, możemy wyjść z stopni czarności dla różnych zakresów fal to znaczy:

$$S_{r\lambda T} = f\,(\lambda,\ T)$$

Wstawiając średni stopień czarności otrzymujemy zależność tylko temperatury:

$$S_{rT} = \frac{E_T}{4{,}95 \,.\, 100^{-4} \,.\, T^4} = f\ (T)$$

Wprowadzając S_{rT} obliczymy tyle S_{rT} różnych, ile różnych temperatur mamy w badanym odcinku pieca:

$$S_r = \frac{E_{Tr} - E_{Tg}}{4.95\ 100^{-4} \,.\, (T_r{}^4 - T_g{}^4)} =$$

$$= \frac{S_{rTr} \cdot T_r{}^4 - S_{rTg} \cdot T_g{}^4}{T_r{}^4 - T_g{}^4} = f\ (T_r + T_g)$$

Średni stopień czarności spalin zależy praktycznie od średniej temperatury pieca, więc jest wartością tylko przybliżoną; powstały przez jego wprowadzenie błąd jest mniejszy od błędu ze złej oceny temperatury i nie brania pod uwagę kształtu promieniującej powierzchni spalin. Rys. 2 i 3 podają zależności stopni czarności CO_2 i pary wodnej od temperatury na podstawie pracy *Eckerta*.

Współrzędna pozioma w skali logarytmicznej jest ilorazem ciśnienia cząstkowego i stopnia czarności, pionowa współrzędna — stopniem czarności, a parametrem jest temperatura. Techniczne spaliny składają się w większości z CO_2, H_2O, N_2 *i* O_2, trzeba zatem dla obliczenia całkowitego promieniowania wg równania

$$S_{rT} = \frac{E_T}{4{,}95 \,.\, 100^{-4} \,.\, T^4}$$ w jakiś sposób podsumować

promieniowanie CO_2 i H_2O. Dla uproszczenia autor proponuje sumę arytmetyczną. Nie jest to ścisłe, gdyż promieniowanie w tej samej długości fali sumuje się według krzywej *e*. Błąd jest jednak b. mały. Poniżej podajemy przykład, naniesiony na rys. 3:

$S_r = 80$ cm; $CO_2' = 0{,}075$ $(CO_2 \,.\, S_r = 6)$

$H_2O_2' = 0{,}225$ $(H_2O' \,.\, S_r = 18)$ $t = 1250^0C$

$$S_{rT} = \eta \,.\, \Delta S_{rtCO_2'} + \Delta S_{rtCO_2'} = 0{,}7 \,.\, 0{,}178 + 0{,}078 \simeq 0{,}203.$$

Druk. „Zgoda" J. Klimczak i S-ka. Zielna 47 Tel. 619-57.